

大分県温泉調査研究会報告

第 61 号

平成 22 年 7 月

目 次

両子山の第四紀マグマの Sr 同位体による研究	柴 田 知 之 他 1 名	(1)
由布岳・由布院盆地周辺の表層電気伝導度分布	鍵 山 恒 臣 他 3 名	(3)
慢性心不全患者の血管内皮機能に対する温泉浴の効果について	尾 山 純 一	(7)
メンタルヘルスにおける温泉入浴と冷泉飲泉の比較：これまでの研究の総括	寺 尾 岳	(9)
河川生態系に対する温泉排水の影響に関する研究 －別府地域における河川水質と珪藻流出量の関係－	山 田 誠 他 4 名	(15)
両子山火山噴出物の記載岩石学的研究	三 好 雅 也 他 1 名	(25)
MT法を用いた鶴見・伽藍火山周辺域における地下比抵抗構造調査	宇津木 充 他 2 名	(29)
火山灰による別府周辺の第四紀後期火山活動史	竹 村 恵 二	(35)
環境同位体をトレーサーとした別府温泉南部域を流動する温泉水の滞留時間の推定	三 島 壮 智 他 3 名	(41)
温泉の医学的利用に関する検討(X) －温泉調査研究会報告の総括－	安 田 正 之	(51)

序

日本人は古くから温泉を好み楽しんできました。そうした温泉利用の長い歴史を通して、温泉は日本人の生活に根付き、現代においても日本人の温泉志向は変ることなく、ますます深くなっているように思われます。とくに1960年代を中心とした高度経済成長期には、生活レベルの向上に伴って飛躍的に温泉地への旅行者が増え、温泉に関わる観光などの産業が発展したことはよく知られています。これは当然のように温泉需要量の増大につながり、全国各地で温泉の開発が図られました。大分県はその代表的な地域であり、多数の温泉井戸が掘削されました。たとえば、わが国最大規模の温泉地・別府温泉では、それまで千数百本であった源泉数が約三千本へと倍増しました。

昭和24（1949）年に設立された大分県温泉調査研究会では、調査事業の一環として各温泉地の現況調査を実施し、得られた結果を機関誌「大分県温泉調査研究会報告」に掲載・公表してきました。また、大分県には、温泉の掘削や利用などに関する大量の行政資料が蓄積されています。それらの資料から、温泉開発がもたらしたさまざまな影響の実態が浮かび上がってきました。自噴泉の減少、動力泉の増加、泉質の変化、泉温の低下、沸騰泉の沸騰の停止、そして掘削深度の増大などです。こうした事実は、これまでも機会あるごとに公表され、そのための行政面での対策も講じられてきました。たとえば、温泉の新規掘削を認めない特別保護地域の設定などです。これはおそらく全国でも最も厳しい温泉資源保護対策と思われるのですが、現状を見ると、さらなる対策が望まれるようです。

対策を講じて行くに当たって、まず、実態をより広く認識してもらう必要があります。そこで本会では、平成21年度から「豊かな温泉資源を未来に継承するための地域別懇談会」を発足させました。また、温泉に関する科学の発展と公表も不可欠です。すなわち、本研究会の事業の深化が要求されます。

ここにお届けする機関誌第61号は、人間ならば還暦を経て新たな道へと踏み出す、記念すべき号であります。本号には、地質学関係3編、電磁気学関係2編、地球化学関係2編、医学関係3編、合計10編の報告が掲載されています。多岐にわたる研究課題は、いずれも会員諸氏が自主的に選択したものであり、斬新な観点と手法による研究成果に接することができるのは大きな喜びです。調査研究をご担当いただいた会員諸氏、ご支援いただいた関係行政機関並びに事務局の方々に深く感謝の意を捧げる次第です。

平成21年度の活動を記した本号を出版するに当たり、会員諸氏の研究の進展と本会の持続的発展を期待し、関係各位・諸機関の引き続いてのご協力をお願いいたします。

平成22（2010）年7月

大分県温泉調査研究会

会 長 由 佐 悠 紀

両子山の第四紀マグマの Sr 同位体による研究

京都大学大学院理学研究科附属地球熱学研究施設
柴田知之・三好雅也

要 旨

国東半島に位置する両子山火山のマグマの起源解明を目的に、8試料の火山岩類を採取し主要元素組成、微量元素組成、およびSr同位体組成を求めた。微量元素組成は先行研究による姫島火山群の火山噴出物の組成と類似し、また、Sr/Y比は両子山のマグマの起源物質には沈み込む海洋地殻の部分溶融液が関与していることを示唆する。

1. はじめに

国東半島中心部に位置する両子山火山は1.1~1.5Maに活動した火山で、その噴出物は国東半島ほぼ全域に広く分布している (e. g. 鎌田ほか, 1988; Kamata, 1998)。また、0.1Ma頃に、両子山火山近傍で姫島火山群が活動している。当地域は沈み込むフィリピン海プレートが水平方向で屈曲している地点であるため、両子山火山のマグマ起源の研究は、大山をはじめとする西南日本弧の火山と九州弧の火山のマグマ起源の違いを解明する上で重要であると考えられる。このような目的で2005年度にも調査研究を実施したが、化学分析に耐える試料が1つしか得られなかったため (柴田, 2005)、改めて両子山火山噴出物の採取を行い8試料の変質の少ない試料を得、これら試料の主要元素組成、微量元素組成、およびSr同位体組成を求めたので報告する。

2. 分析方法

分析はすべて京都大学理学研究科地球熱学研究施設で行った。微量元素組成は蛍光X線分析計 (RIGAKU 3870) で杉本ほか (in preparation) の方法で測定した。また、Sr同位体は表面電離型質量分析計 (MAT 262) で、Yoshikawa et al. (2001) およびShibata et al. (2007) の方法に従い測定した。標準試料 NIST 987 の繰り返し測定結果は 0.710261 ± 30 (2σ , $n = 17$) であった。

3. 結果と考察

今回新たに測定した両子山の微量元素組成を、Sr/Y比とY含有量の関係として図1. に示した。沈み込むスラブが部分溶融することをマグマの起源とすると考えられているアダカイトの領域から通常の島弧の安山岩~流紋岩 (ADR) の示す領域まで (Defant and Drummond, 1990)、両子山のデータはプロットされる。Sr/Y比とSr同位体比の関係をみると (図2)、Sr/Y比が高くなるに従いSr同位体比は減少し沈み込むスラブの海洋地殻の示す値に近づく。これらのことは、よりSr/Y比が高くY含有量が少なくアダカイト的な特徴が強い試料、すなわち、スラブの部分溶融を起源とする可能

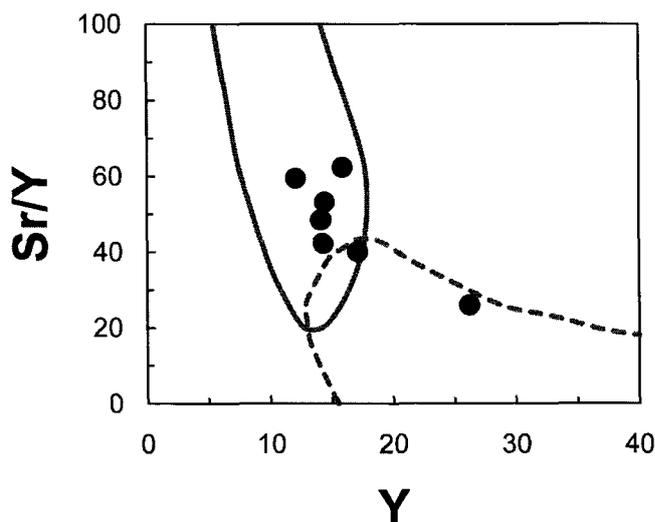


図1. Y vs. Sr/Y比変化図。実の領域はアダカイト、破線の領域は一般的沈み込み帯マグマの示す領域 (Defant and Drummond, 1990)。

性の高い試料ほど、Sr同位体比がスラブ構成物である海洋地殻のSr同位体比に近づいていることを示す。したがって、両子山のマグマの起源は、沈み込むスラブの部分溶融であることが強く示唆される。一方、図1でアダカイトの領域から通常の島弧の安山岩～流紋岩(ADR)の示す領域まで、両子山のSr/Y比とY含有量は組成変化を示している。この変化を作る機構として1)スラブの部分溶融液が上昇中に通過するマントル物質との反応、2)流体の付加を受けたマントルの部分溶融液との混合、3)地殻物質による汚染等が、その可能性として考えられる。この検証のため、予察的にSr同位体比とSiO₂との関係について検討した(図3)。その結果SiO₂含有量の増加とともにSr同位体比が高くなる傾向が認められた。これは地殻物質のマグマへの混入を強く示唆する。さらに、この傾向は、傾きが異なる二つのトレンドに分かれているように見える。したがって、マグマを汚染する地殻物質として複数の物質が存在している可能性も考えることができる。

4. まとめ

1) 両子山のマグマの起源は、Sr/Y比とY含有量の関係とSr/Y比とSr同位体比の関係から、沈み込むスラブの部分溶融である可能性が示唆された。

2) Sr同位体比とSiO₂との関係から、地殻物質がマグマへ混入した可能性が考えられる。

参考文献

- Defant and Drummond (1990), Derivation of some modern arc magmas by melting of young subducted lithosphere, *Nature*, 347, 662-665.
- Kamata, H. (1998), Quaternary volcanic front at the junction of the Southwest Japan Arc and the Ryukyu Arc. *J. Asian Earth Sci.*, 16, 67-75.
- 鎌田浩毅・星住英夫・小屋口剛博 (1988), 中部九州-中国地方西部の火山フロントの形成年代. *月間地球*, 10, 568-574.
- Shibata, M., Yoshikawa, M. and Sugimoto, T (2007) Semi-automatic Chemical Separation System for Sr and Nd isotope analyses, *J. Mineral. Petrol. Sci.*, 102, page 298-301.
- Yoshikawa, M. Shibata, T. and Tatsumi, Y. (2001) The Sr, Nd and Pb isotopic ratios of GSJ standard rocks, ≡Annual Report of Institute for Geothermal Sciences, pp. 30, Kyoto University, 2000 FY, Kyoto, Japan.

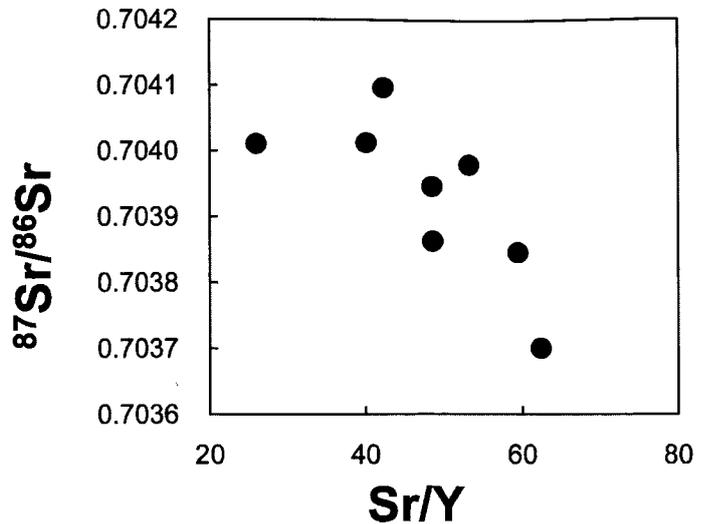


図2. ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr比とSr/Y比の変化図

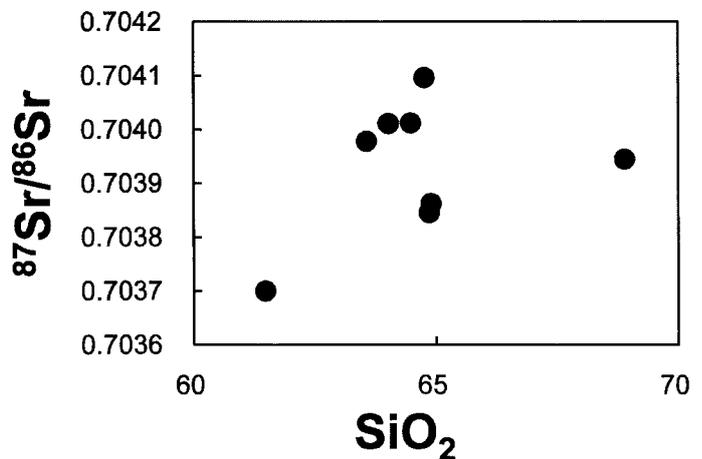


図3. ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr比とSiO₂含有量の変化図

由布岳・由布院盆地周辺の表層電気伝導度分布

京都大学理学研究科地球熱学研究施設火山研究センター

鍵山 恒 臣・吉川 慎
宇津木 充・井上 寛 之

要 旨

由布岳および由布院盆地周辺において表層の電気伝導度分布を調査した。その結果、以下の特徴が明らかとなった。由布岳山体部の電気伝導度は低く、同火山の熱的活動度が低調であることを反映していると思われる。由布院盆地内の電気伝導度は別府温泉地域ほどではないが高い値を示し、とりわけ盆地南縁部（由布院断層の北側）と湯の坪から湯布院駅を経て光永地区に至る地域で電気伝導度が高くなっている。また、由布院盆地から北西方向に電気伝導度のやや高い領域が伸びる傾向が認められる。このことは、湯布院温泉に供給されるマグマ起源の揮発性成分の量が別府温泉に比べると少なく、同地域の地熱活動がテクトニックな構造を反映していることを示すと考えられる。

1. はじめに

地熱地域では、地下深部から供給される火山ガスが地表に噴出するとともに帯水層に付加されて周辺に拡散していると考えられる。鍵山・他（2008, 2009）は、伽藍岳・鶴見岳周辺においてVLF-MTにより表層の電気伝導度分布を調査している。それによると、伽藍岳の地熱活動の中心部である塚原から別府温泉にかけて高電気伝導度領域が伸びているのに対して、鶴見岳では山頂の噴気活動周辺に小規模な高電気伝導度領域が存在する以外には高電気伝導度領域が見られないことが明らかになっている。この違いは、両火山における地下深部から供給される高温の火山ガスの量の違いを反映していると思われる。また、鶴見岳東麓の朝見川断層付近に高電気伝導度領域が認められ、温泉・地熱活動と対応しているほか、伽藍岳北側の別府北断層付近と鶴見岳南麓の由布院断層付近にやや高い電気伝導度領域が見られ、地下水を蓄えやすい堆積層の分布がテクトニックな断層構造を反映していることが明らかになっている。このような特徴が由布・鶴見火山群に属する由布岳周辺においてどのようなようになるか、また、由布岳南山麓に位置する湯布院温泉周辺の電気伝導度分布がどのようなようになるかは、大変興味深い。このような観点から、調査地域をこれまでの西側に拡大してVLF-MT調査を実施した。なお、由布岳山体部の調査は宇津木・田中（2004）による自然電位調査、宇津木（2006）によるVLF-MT調査が行われており、これらの結果も加えて調査結果を報告する。

2. VLF-MTによる表層の電気伝導度分布

調査は、2010年4月に由布院盆地および由布岳周辺域において実施した。本報告では、宇津木（2006）、鍵山・他（2008, 2009）に報告されているデータも合わせて議論する。調査結果は、図1に示すとおりである。全体的な傾向として以下に示す特徴があげられる。本調査域の東にあたる鶴見岳・伽藍岳周辺では、地表を溶岩ドームやその碎屑物によって覆われている地域で $30 \mu\text{S/cm}$ 以下の低電気伝導度を示し、地熱活動域や平坦な扇状地堆積域ではそれ以上の電気伝導度を示す傾向があった。本調査域でも、由布岳山体部では $30 \mu\text{S/cm}$ 以下の低電気伝導度を示している。また、由布院盆地内では $100 \mu\text{S/cm}$ 以上の電気伝導度を示し、盆地の南側では由布院断層を境に $30 \mu\text{S/cm}$ 以下の低電気伝導度となっている（倉木山など）。一方、盆地の北側では電気伝導度の境界は明瞭ではなく、 $30 \mu\text{S/cm}$ 以上の地域が広がっている。以下にそれぞれの地域ごとにその特徴を検討する。

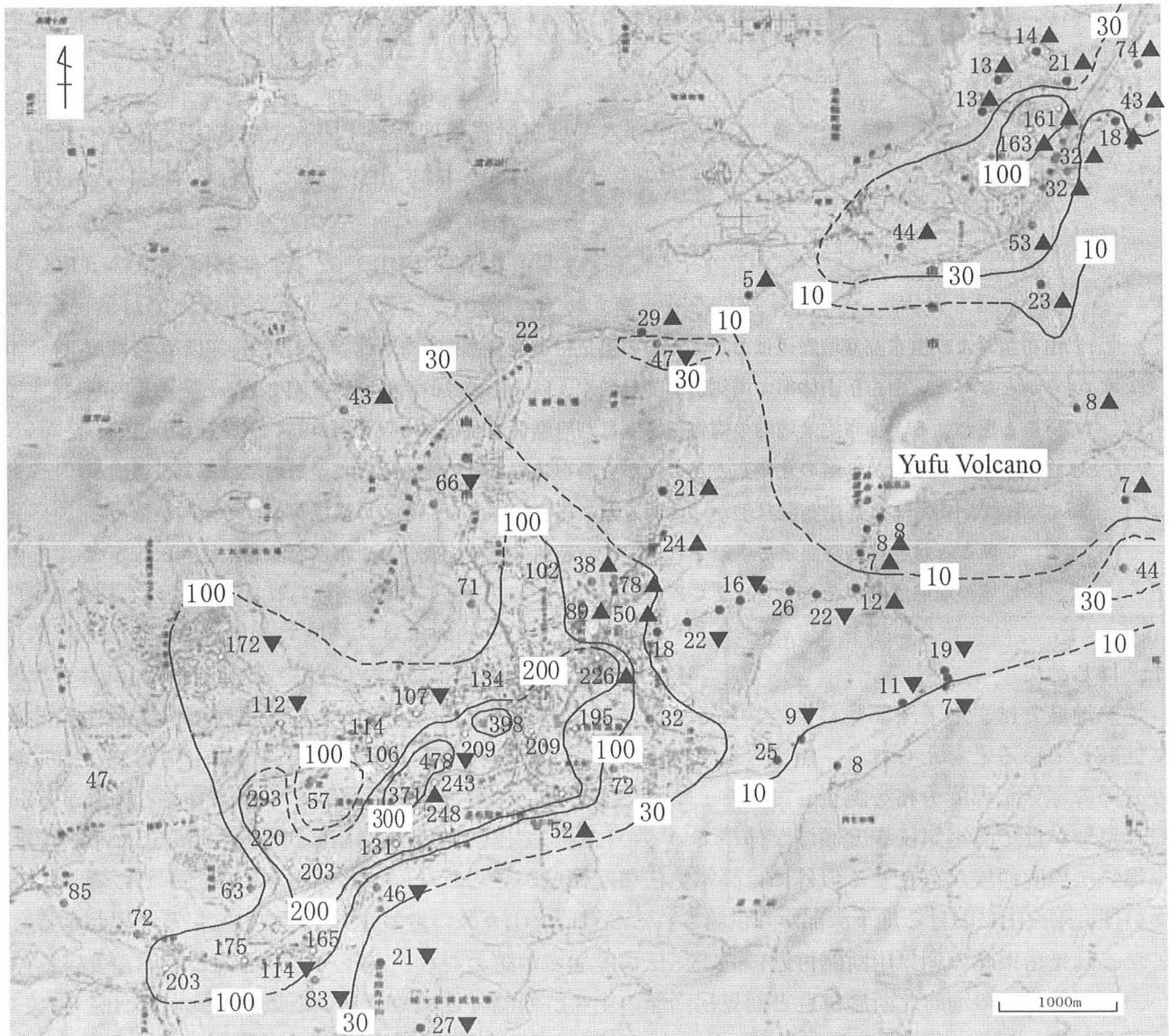


図1 VLF-MTによる湯布院盆地周辺の電気伝導度分布（単位は $\mu\text{S}/\text{cm}$ ）。
 数値の後に付く三角は位相を示す。▲：50度以上，無印：40-50度，▼：40度以下。

2-1 由布岳山体部の電気伝導度分布

由布岳山体部は、ほぼ全域で $30\ \mu\text{S}/\text{cm}$ 以下の低電気伝導度を示し、特に山頂のドームと山体北東部では $10\ \mu\text{S}/\text{cm}$ 以下のきわめて低い伝導度となっている。位相を見ると、山頂部では50度以上を示し山腹では40度以下を示すので、地下の深い部分では両者の中間的な電気伝導度になっていると思われる。由布岳山体部の調査は西側登山道に沿う部分でしか行なわれていないが、東側山麓での電気伝導度が低いことと合わせると山体全域で低電気伝導度となっていると思われる。由布岳はおよそ2200年前の噴火以降活動がなく、噴気等の地熱活動も確認されていないことから、熱的活動度は低調と考えられる。宇津木・田中（2004）、宇津木（2006）は、自然電位およびVLF-MT調査に基づき、固結した山頂ドーム部では天水の浸透が少なく、山腹部において地下への浸透が起きていると推定している。本報告の結果は、この推測とも整合的である。

2-2 由布岳山麓部の電気伝導度分布

由布岳の東麓は、鶴見岳と挟まれた地域であり、 $10\ \mu\text{S}/\text{cm}$ 以下の低電気伝導度となっている。これ

は、両火山の噴出物に厚く覆われ、地下水面が深くなっているためと思われる。この地域の北側および南側では $30 \mu\text{S/cm}$ 以上のやや高い電気伝導度を示している。このうち、南側の領域は、鶴見岳の南麓から続く由布院断層の北側にあたる。断層の北側が沈降し、そこに両火山の噴出物が堆積しているため、両火山に降った雨水はこの領域に集まってくると考えられる。北側の領域も同じように雨水が集まりやすい場所であり、伽藍岳の西麓に見られる電気伝導度のやや高い領域の延長上に位置している。由布岳南麓は、全般に低電気伝導度であるが、上記の由布院断層の南側の基盤に比較するとやや高い伝導度を示している。由布岳西麓は由布院盆地を埋積する位置にあり、山麓部の中では最も電気伝導度が高くなっている。特に湯の坪地区から湯の坪川に沿って佐土原地区に至る領域では、位相が 50 度を越える地点が多く、低電気伝導度の由布岳噴出物の下に地下水を多く含む盆地埋積層が存在すると思われる。

2-3 由布院盆地の電気伝導度分布の特徴

由布院盆地内の電気伝導度は、図1に示すように $100 \mu\text{S/cm}$ 以上の値を示している。特に、盆地南縁部の境界は、由布院断層によって明瞭に規定されている。この断層以南の倉木山付近では $30 \mu\text{S/cm}$ 以下、雨乞牧場付近では $10 \mu\text{S/cm}$ 以下となっている。位相を見ると、多くの場所で 40 度以下を示しており、深部まで電気伝導度が低いことを示している。一方、断層の北側にあたる盆地内では電気伝導度が $100 \mu\text{S/cm}$ 以上と高くなっており、温泉も多く分布している。多くの点で位相が 45 度前後を示し、盆地内の表層が比較的均質であることを示している。このことは、盆地を埋める固結のゆるい堆積物中を温泉水が流動し、伝導度が均質になっていると思われる。盆地南縁の断層にそって温泉が多く分布していることから（川南地区）、断層の亀裂を通して温泉水が上昇しているようにも思われるが、盆地内の電気伝導度分布を細かく見ると、盆地北東部の湯の坪から湯布院駅を経て光永地区に至る領域で、もっとも高い電気伝導度を示しており（ $300 \mu\text{S/cm}$ 以上）、この領域の地下から温泉水が上昇している可能性が考えられる。

由布院盆地の北側では、電気伝導度がしだいに低くなる傾向があり、南縁部に比べるとその境界は明瞭ではない。由布院盆地から飛岳と福万山の間位置する並柳地区および湯布高原に向けて、 $100 \mu\text{S/cm}$ を越える領域が北西方向にのびている。このうち、湯布高原付近の測定点の位相は 40 度以下であり、地下の深い部分での電気伝導度はそれほど高くないと思われる。一方、並柳地区付近の測定点の位相は 50 度以上となっており、深部の電気伝導度は高いことを示している。こうしたことから、由布院盆地から並柳地区にかけての北西-南東方向に、なんらかの構造線が伸びている可能性がある。

3. まとめ

由布岳および由布院盆地周辺において、表層の電気伝導度分布を調査した。その結果、以下の特徴が明らかとなった。由布岳山体部の表層電気伝導度は $30 \mu\text{S/cm}$ 以下という低い値を示し、同火山の熱的な活動が低いことを反映していると考えられる。由布院盆地内は $100 \mu\text{S/cm}$ 以上の高電気伝導度を示し、盆地を埋積する層に地下水が多く含まれることを示している。また、盆地の北東部の湯の坪から南西部の光永地区にかけて高電気伝導領域が続いており、この領域の地下深部から温泉水が上昇している可能性がある。盆地の南縁は由布院断層によって明瞭に区切られており、南側は低電気伝導度の基盤となっている。一方、盆地の北縁は明瞭ではなく、やや電気伝導度の高い領域が伸びている。特に、並柳地区の方向に（北西方向に）電気伝導度のやや高い領域が伸びており、なんらかの構造線が伸びている可能性がある。

湯布院温泉の熱源がどこにあるかについては、本研究では明らかにすることはできなかったが、以下に示す結果が得られている。由布岳山体部の電気伝導度が低いことから、由布岳深部から上昇してきた火山ガスと考えることは困難である。この点は、伽藍岳等の深部から上昇してきた火山ガスによって維

持されていると思われる鍋山－明礬－鉄輪温泉などとは異なる特徴を持つ。一方、由布院断層を境として電気伝導度が明瞭に変わることから、この断層を通路として深部から温泉水が上昇してきている可能性も考えられる。しかしながら、由布院盆地内の湯の坪から光永地区にかけて電気伝導度のもっとも高い領域が分布していることから、温泉水が上昇してくる経路は由布院断層ではなく、この高電気伝導度域の地下である可能性もある。こうした問題は、AMT観測によってより深部の電気伝導度構造を明らかにすることで解明されると思われる。

謝辞

測定結果の解釈において、京都大学地球熱学研究施設竹村恵二教授、大沢信二教授との討議が有益であった。この誌面を借り謝意を表します。

参考文献

- 鍵山恒臣・宇津木 充・吉川 慎・寺田暁彦（2008）：伽藍岳・塚原の地熱活動の周辺域への広がりに関する調査，大分県温泉調査研究会報告，59，35-39.
- 鍵山恒臣・宇津木 充・吉川 慎・井上寛之（2009）：鶴見岳・伽藍岳の噴気活動と表層の電気伝導度分布に関する調査，大分県温泉調査研究会報告，60，3-6.
- 宇津木 充・田中良和（2004）：由布岳における自然電位観測，大分県温泉調査研究会報告，55，81-85.
- 宇津木 充（2006）：VLF-MT法を用いた由布岳浅部比抵抗調査，大分県温泉調査研究会報告，57，73-77.

慢性心不全患者の血管内皮機能に対する 温泉浴の効果について

九州大学病院別府先進医療センター
慢性疾患治療部

尾山 純一・工藤 義弘

老化制御学部門

牧野 直樹

要 旨

慢性心不全患者を対象に温泉浴による血管反応について検討した。心拍数、心胸比に変化はなかったが平均血圧低下、左室駆出率の改善、脳性利尿ペプチド及びC反応性蛋白の低下が認められた。温泉浴効果は心不全患者の血管及び炎症反応改善に寄与する可能性が示唆された。

目的：慢性心不全に対する非薬物治療の一つとして運動療法は以前から知られているが、最近では温熱療法が慢性心不全患者の自覚症状の改善、予後の改善等に有効であることが示唆されている。慢性心不全患者において末梢循環が悪化している事が報告されているが、温泉入浴により末梢血管反応が改善させられるか否かは明らかでは無い。本施設では、充実した温熱療法施設が備わっており、患者の治療に役立てることを目的としている。今回我々は当病院で行っている慢性心不全患者の血管反応に対する温泉浴効果について報告する。

方法：症状が安定している代償期慢性心不全患者32名（拡張型心筋症16名、虚血性心臓病16名、合計32名）を無作為に二群に割付け、温熱療法群には、2週間毎日（週5回）40度の温泉に10分程度温泉浴をしてもらい、対照群にはシャワー浴のみを、何れの群も医師もしくは看護師の監視下で行って貰い、血圧（SBP：収縮期血圧、DBP：拡張期血圧、mean BP：平均血圧）、心拍数(HR)、心胸比(CTR)、左室駆出率(LVEF)、症状（NYHA：ニューヨーク心臓協会分類）の変化、血液生化学的検索として心機能の指標となる脳性利尿ペプチド(BNP)、炎症の指標となるC反応性蛋白(CRP)の変化を検討した。

結果：対照群においては、特に血行動態及び心機能などに変化はなかったが、温熱療法群においては、血圧及び心拍数に変化は認められなかったが、心胸比、左室駆出率、症状の改善が認められた。さらに、BNP、CRPの低下が認められた。BNPは心機能を反映する生化学的指標とされ、臨床の間でも用いられており、心機能低下とともに高値を示すようになる。事実本症例では400台であった数値が300台にまで低下した（正常値<30pg/ml）。また、心不全患者においては炎症マーカーであるCRPの上昇が明らかになっており、その高値は予後にも影響すると言われておるが、炎症も温熱療法により減弱することが明らかになった。

結語：温熱効果によって、心負荷が減弱し心機能の改善及び炎症を減弱させる効果が明らかになった。以上より、温泉浴療法は心機能を改善し、最終的に自覚的症状の改善を呈する可能性が示唆された。

	拡張型心筋症		虚血性心臓病		合計	
	治療前	治療後	治療前	治療後	治療前	治療後
対照群						
SBP(mmHg)	113.1 ± 3.6	112.3 ± 3.3	116.8 ± 10.5	117.4 ± 9.4	120.8 ± 7.0	118.1 ± 5.7
DBP (mmHg)	73.6 ± 4.8	70.1 ± 3.0	73.5 ± 5.1	73.3 ± 3.9	76.6 ± 3.7	77.4 ± 2.9
MeanBP (mmHg)	86.8 ± 3.9	88.6 ± 1.7	82.9 ± 4.6	85.0 ± 3.7	84.7 ± 3.0	86.6 ± 2.1
HR (bpm)	77.1 ± 6.0	79.1 ± 5.3	75.4 ± 5.4	76.3 ± 5.6	76.2 ± 3.9	77.6 ± 3.7
CTR (%)	61.5 ± 1.7	60.7 ± 1.8	57.1 ± 3.6	56.6 ± 3.0	59.1 ± 2.1	58.5 ± 1.8
EF (%)	34.2 ± 5.5	33.2 ± 5.3	40.4 ± 3.0	38.5 ± 2.8	37.5 ± 3.0	36.0 ± 2.9
NYHA (I / II / III / IV)	0 / 2 / 6 / 0	0 / 2 / 6 / 0	0 / 1 / 7 / 0	0 / 1 / 7 / 0	0 / 3 / 13 / 0	0 / 3 / 13 / 0
BNP	428.7 ± 74.2	401.4 ± 97.9	671.7 ± 146.5	718.0 ± 237.8	558.3 ± 88.7	570.3 ± 137.0
CRP (mg/dl)	0.39 ± 0.19	0.24 ± 0.06	0.39 ± 0.20	0.43 ± 0.22	0.44 ± 0.14	0.34 ± 0.12
温熱療法群						
SBP (mmHg)	110.1 ± 3.5	101.8 ± 3.9	109.1 ± 6.1	109.5 ± 6.4	107.1 ± 4.0	106.3 ± 3.8
DBP (mmHg)	70.1 ± 3.0	64.0 ± 2.1*	70.4 ± 2.7	69.5 ± 4.0	70.1 ± 2.0	67.4 ± 2.4*
MeanBP (mmHg)	83.5 ± 3.0	76.6 ± 2.5*	84.1 ± 3.1	81.6 ± 4.0	83.8 ± 2.1	79.1 ± 2.4*
HR (bpm)	75.4 ± 4.4	70.4 ± 4.9	76.8 ± 5.9	76.9 ± 5.6	75.4 ± 3.6	73.0 ± 3.8
CTR (%)	60.1 ± 1.6	53.0 ± 0.9**##	58.4 ± 2.4	55.1 ± 1.5	59.2 ± 1.4	54.0 ± 0.9*##
EF (%)	34.8 ± 3.0	44.5 ± 2.8*##	32.6 ± 3.2	45.9 ± 3.4*##	33.7 ± 2.1	45.2 ± 2.1**##
NYHA (I / II / III / IV)	0 / 2 / 6 / 0	1 / 7 / 0 / 0**##	0 / 2 / 6 / 0	0 / 7 / 1 / 0*#	0 / 4 / 12 / 0	1 / 14 / 1 / 0**##
BNP	320.8 ± 53.2	197.6 ± 36.5**#	827.9 ± 128.5	348.6 ± 66.8**##	574.3 ± 93.8	273.1 ± 41.6**##
CRP	0.50 ± 0.20	0.10 ± 0.03*#	0.26 ± 0.12	0.07 ± 0.02*#	0.38 ± 0.12	0.09 ± 0.02*#

* p<0.05, **p<0.01 vs 対照群, #p<0.05, ##p<0.01 vs 治療前

メンタルヘルスにおける温泉入浴と冷泉飲泉の比較： これまでの研究の総括

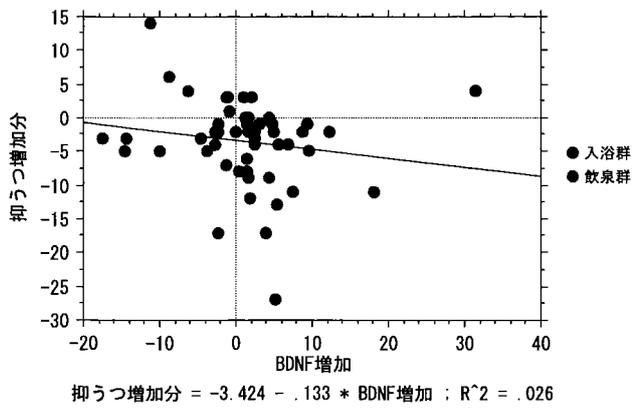
大分大学医学部精神神経医学講座
寺尾 岳

要 旨

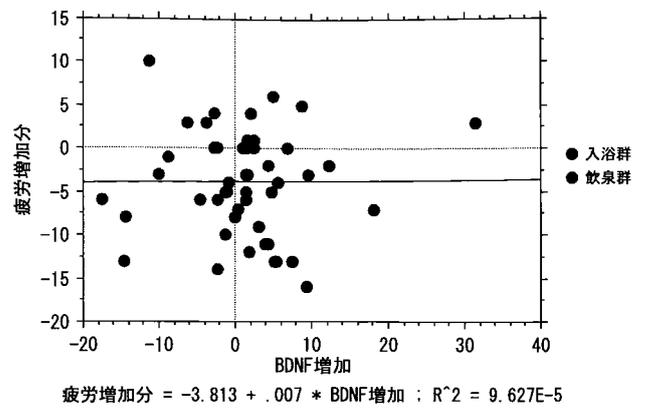
- 目的**
- ・私どもはこれまで、大分市郊外の塚野鉦泉（リチウム濃度6.1mg/L）や臼杵市郊外の六ヶ迫鉦泉（リチウム濃度15.7 mg/L）における冷泉での飲泉に伴う精神状態の変化を検討した。
 - ・大分市郊外の極楽温泉における入浴に伴う精神状態の変化も検討した。
 - ・今回の研究の目的は、両者を比較することにある。
- 対象**
- ・冷泉飲泉群：44名（男性18名、女性26名）、年齢64.7±12.6歳
 - ・温泉入浴群：18名（男性10名、女性8名）、年齢61.3±16.1歳
 - ・年齢、性ともに有意差なし。
- 方法**
- ・不安や緊張の程度を測定するために、自覚的な質問紙S T A I（State Trait Anxiety Inventory）やPOMS（Profile of Mood States）を用い、飲泉や入浴前後の変化を比較検討した。
 - ・飲泉や入浴前後のリチウム濃度の変化を比較検討した。
 - ・飲泉や入浴前後のBDNF濃度の変化を比較検討した。

結果

	入浴群	飲泉群	t	p
POMS				
緊張と不安の改善	4.0±8.1	2.1±7.8	0.8	0.42
抑うつ改善	6.1±7.5	2.2±5.7	2.1	0.04
怒りや敵意の改善	7.6±9.7	3.5±6.4	1.9	0.07
活気の改善度	1.0±6.1	-0.5±9.0	0.6	0.54
疲労の改善度	6.6±5.9	2.2±5.4	2.8	0.008
混乱の改善度	5.8±5.8	2.7±5.0	2.0	0.05
STAI				
特性不安の改善度	2.8±4.1	1.9±5.7	0.5	0.59
状態不安の改善度	5.4±6.1	1.0±8.4	1.9	0.07
血中リチウム濃度の増加	3.6±7.7	351±234	6.1	0.0001
血中BDNF濃度の増加	4.6±9.1	-0.5±6.4	2.4	0.03



$\rho = -0.18, p = 0.20$



$\rho = -0.042, p = 0.77$

- まとめ
- ・入浴の方が飲泉よりも、抑うつや疲労の改善度が有意に高かった。
 - ・入浴の方が飲泉よりも、血中BDNF濃度の上昇が有意に大きかったが、この上昇の程度と抑うつや疲労の改善には有意な相関は認められなかった。
 - ・したがって、入浴と飲泉の効果の違いを血中BDNFで説明することは困難である。

Drinking Spring Water and Lithium Absorption: A Preliminary Study

Ippei Shiotsuki¹, Takeshi Terao¹, Hirochika Ogami¹, Nobuyoshi Ishii¹, Reiji Yoshimura²
and Jun Nakamura²

¹Department of Neuropsychiatry, Oita University Faculty of Medicine, Oita, Japan

²Department of Psychiatry, University of Occupational and Environmental Health, Kitakyushu, Japan

Corresponding author: Takeshi Terao, M.D., Ph.D., Professor, Department of Neuropsychiatry,
Oita University Faculty of Medicine, Idaigaoka 1-1, Hasamamachi, Yufu, Oita, 879-5593, Japan,
E-mail: terao@med.oita-u.ac.jp

Abstract

Background: In Japan, there are several resorts with cold springs that have mineral water containing relatively high levels of lithium compared to tap water. Visitors to such cold-spring resorts traditionally drink 2 to 4 L of mineral water for several hours in the early morning in the belief that the water has properties which maintain physical health. The present study aimed to investigate whether drinking the water increase serum lithium levels despite frequent urination, and to examine the mental effects of drinking mineral water containing lithium and related factors.

Methods: Forty three subjects who were not psychiatrically ill gave informed consent to this study. Before and just after drinking the water, serum lithium levels, the State-Trait of Anxiety Inventory (STAI) scores, Profiles of Mood States Test (POMS) scores and brain-derived neurotrophic factor (BDNF) levels were measured.

Results: The subjects drank 3.64 L of the water in the early morning. Serum lithium levels were significantly increased from 0.026 to 0.073 mEq/L, which were much lower than the ones used in the treatment of psychiatric disorders. After drinking, most ratings of POMS significantly improved. Serum lithium levels were positively and significantly associated with serum BDNF levels, and changes in serum BDNF were negatively and significantly associated with changes in STAI state scores.

Conclusion: The present findings suggest that drinking mineral water containing very low lithium levels may increase serum lithium levels and improve mental state as a likely consequence of changes in BDNF levels, although improvement in subjective well-being may have been due to placebo effect. Taking several methodological limitations into consideration, further studies are required to confirm this suggestion (*German J Psychiatry* 2008; 11: 103-106).

Keywords: lithium, mineral water, cold spring, STAI, POMS, BDNF

Received: 5.1.2008

Revised version: 14.5.2008

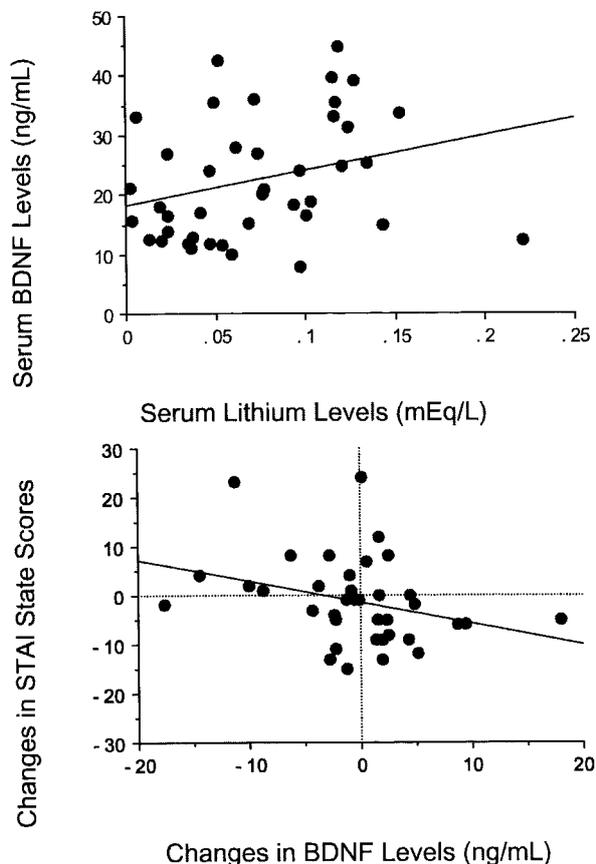
Published: 14.11.2008

Introduction

Several meta-analyses have confirmed the efficacy of lithium in the treatment of bipolar disorder (Poolsup et al., 2000; Geddes et al., 2004), augmentation of antidepressants (Bauer & Dopfmer, 1999), and suicide (Cipriani et al., 2005). Beyond these established effects, lithium may have prophylactic effects for dementia (Terao et al., 2006) although this is still controversial. These various effects have

been investigated within so-called therapeutic ranges, but there is a possibility that even very low levels of lithium may bring about some psychotropic effects because very small amounts of lithium in tap water (0.07-0.16 mg/L) have been associated with less psychiatric hospitalizations (Dawson et al., 1972) and less suicide and crimes (Schrauzer & Shrestha, 1990). Schrauzer et al. (1994) performed a randomized double-blind placebo-controlled lithium supplementation study (400 µg/day) in a total of 24 subjects with a history of substance dependence. As a result, they found that lithium

Figure 1. The Relationship Between Serum Lithium Levels and Serum BDNF Levels After Drinking Lithium Mineral Water, and the Relationship Between Changes in BDNF Levels and Changes in STAI State Scores



group showed rapid and consistent mood improvement in comparison with placebo group although at that time they could not measure very low serum lithium levels and the mechanism was not investigated. Thereafter, to our knowledge, no researcher reconfirmed their findings.

In Japan, there are several resorts with cold springs that have mineral water containing relatively high levels of lithium compared to tap water. Visitors to such cold-spring resorts traditionally drink 2 to 4 L of mineral water for several hours in the early morning in the belief that the water has properties which maintain physical health. Although those who partake in this health regime may not be aware of the possible psychotropic effects of the spring water, we can investigate the effects of drinking mineral water containing very low level lithium. Moreover, recently, very low serum lithium levels can be measured by using mass spectroscopy.

In the present study, we investigated the effects of drinking mineral water containing lithium on serum lithium levels. Moreover, mental state and brain-derived neurotrophic factor (BDNF) were also investigated because lithium has been reported to increase BDNF (Manji et al., 2000). The hypothesis was that drinking mineral water containing lithium may increase serum lithium levels and thereby improve

mental state as a likely consequence of changes in BDNF levels.

Method

Two typical resorts with cold springs containing relatively high lithium levels near our university were selected. One was Tsukano cold spring with 6.1 mg/L of lithium mineral water and the other was Rokkasako cold spring with 15.7 mg/L of lithium mineral water. These lithium levels were much lower than those in routine clinical settings (e.g., 400 to 1200 mg/day) but much higher than those in tap water (much less than 1 mg/L). In both springs, visitors stay at an inn near the spring for several days. They wake in the very early morning (around 2-3 AM) and continuously drink from the cold spring until 6-7 AM.

Prior to (i.e. the previous evening) and just after drinking spring mineral water, psychological tests including the State-Trait Anxiety Inventory (STAI) and Profiles of Mood States Test (POMS), blood sampling to measure serum lithium levels and brain-derived neurotrophic factor (BDNF) were performed. In addition, serum creatinine was measured as a parameter of renal function.

Serum lithium levels were measured by using mass spectroscopy at a third party (Oita Yakuzaiishi Kensa Center). Serum BDNF levels were measured by one of the authors (R.Y.) using a BDNF Emax Immunoassay Kit (Promega, Madison, WI, USA) according to the sandwich ELISA method. He was blind to the psychological findings of the subjects. Intra- and interassay coefficients of variation were 5% and 7%, respectively. The protocol of this study was approved by the Ethics Committee of Oita University Faculty of Medicine. All subjects gave their consent after having been informed of the study's purpose and methods. The subjects also received advice regarding both possible effects and side effects of drinking the mineral water such as lithium toxicity. As to the statistical analyses, Wilcoxon signed-ranks test and Spearman's correlation coefficient were used.

Results

In total, 43 subjects (26 females and 17 males) entered the study. Their mean age was 65.7 ± 10.8 years. According to our semi-structured interview, none of the participants had psychiatric illnesses. The subjects drank 3.64 ± 1.85 L of spring mineral water from 2-3 AM to 6-7 AM and urinated more frequently than usual. After drinking lithium mineral water, body weight was increased but not significantly (57.6 ± 10.0 to 59.3 ± 9.1 kg, $p < 0.08$). Serum lithium levels were significantly increased from 0.026 ± 0.032 to 0.073 ± 0.049 mEq/L ($p < 0.0001$). Serum creatinine levels were significantly decreased from 0.69 ± 0.17 to 0.64 ± 0.15 mg/dL ($p < 0.0001$) whereas serum BDNF levels were unchanged (22.7 ± 11.8 to 22.5 ± 10.2 ng/ml). After drinking the mineral water, tension and anxiety (47.6 ± 7.2 to 45.3 ± 9.2 ,

$p < 0.01$), depression (51.1 ± 7.4 to 48.8 ± 8.0 , $p < 0.02$), anger and hostility (50.6 ± 12.3 to 47.1 ± 10.1 , $p < 0.001$), fatigue (46.8 ± 7.6 to 44.0 ± 7.7 , $p < 0.03$) and confusion (50.8 ± 8.8 to 48.2 ± 9.2 , $p < 0.01$) scores of the POMS significantly decreased.

Although there was no association between serum lithium and BDNF levels before drinking lithium mineral water, serum lithium levels became positively and significantly associated with plasma BDNF just after drinking ($\rho = 0.35$, $p < 0.03$) (Figure 1). Figure 1 also shows that changes in serum BDNF levels were negatively and significantly associated with changes in STAI state scores ($\rho = -0.36$, $p < 0.03$).

Discussion

Although the subjects urinated more frequently than usual, the mean serum lithium levels were significantly increased from 0.026 to 0.073 mEq/L by drinking cold spring water containing lithium. Nonetheless, this basal value of 0.026 seems to be high compared to the mean lithium level of people who are not in the habit of drinking lithium mineral water which has been found to be around 0.001 (mEq/L) (unpublished data). It is therefore probable that the basal value was already increased by the sustained drinking of lithium mineral water before the study. Despite the significant increase from 0.026 to 0.073 mEq/L, it should be noted that the value of 0.073 mEq/L is still clearly lower than therapeutic lithium levels (e.g., 0.4–1.0 mEq/L). These findings suggest that serum lithium levels do increase modestly but significantly by drinking cold spring water containing lithium despite frequent urination.

With regard to the effects of such low lithium levels, in the present study, most psychological variables of POMS such as tension and anxiety, depression, anger and hostility, fatigue and confusion were significantly decreased following the increase of lithium levels. Placebo effects and/or trace contained in the spring mineral water other than lithium might have affected their mental state. Nonetheless, it seems likely that lithium, at least partially, affected the results because serum lithium levels were positively and significantly associated with serum BDNF levels (Figure 1), and changes in serum BDNF levels were negatively and significantly associated with STAI state scores (Figure 1). Therefore, the present findings reconfirm the findings by Schrauzer et al. (1994).

It should be emphasized that the significant decrease in serum creatinine levels indicates the dilution of the subjects' serum by drinking mineral water. That is, the change in the mean creatinine level from 0.689 to 0.640 mg/dL means 108 % of dilution. If this is the case in serum BDNF levels, then the mean BDNF might have been changed from 22.7 to 21.1 ng/mL. However, BDNF was apparently unchanged from 22.7 to 22.5 ng/mL. This suggests that there was a substantial increase of BDNF which might have compensated for the difference between 22.5 and 21.1 (i.e. 1.4 ng/mL).

Although BDNF is highly concentrated in the nervous system, it is also found in the serum of humans and other

mammals, where its function is poorly understood (Karege et al., 2005). Pan et al. (1998) reported that BDNF can cross the blood-brain barrier and Karege et al. (2002) reported a positive correlation between serum and cortical BDNF levels in animal studies. Recently, Karege et al. (2005) also reported a decrease in serum BDNF levels without a change in the whole blood BDNF content of drug-free depressed patients, indicating the involvement of BDNF release from platelets. In the present study, it seems likely that the above substantial increase (although seemingly unchanged) in serum BDNF levels was induced by BDNF release from the subjects' platelets. It is also possible that in their brain BDNF release was concurrently increased and improved their mental state after lithium absorption during drinking lithium mineral water.

There are several limitations to the present study. First, the psychological findings may have been influenced by the nature of an open study. We, however, explained both effects and side effects of lithium to the subjects openly and, to begin with, they came to the springs and drank mineral water in order to maintain their physical health but not mental health. Therefore, it seems unlikely that their psychological reactions influenced subjective ratings although placebo effects cannot be denied completely. Second, the study population was not selected randomly and the design did not have control (e.g. drinking tap water). Third, the time of drinking (2–3 to 6–7 AM) overlapped with that of partial sleep deprivation. Although it cannot be denied completely, the significant association between serum lithium and BDNF levels supports the involvement of drinking lithium mineral water. Finally, our subjects were healthy volunteers and Schrauzer et al.'s (1994) subjects had a history of substance dependence, which were different from bipolar disorders. This difference might have affected the difference of therapeutic lithium levels.

The present findings suggest that drinking mineral water containing very low lithium levels may increase serum lithium levels and improve mental state as a likely consequence of changes in BDNF levels. Taking several methodological limitations into consideration, further studies are required to confirm this suggestion.

Acknowledgments

All the authors report no competing interests. We thank Mrs Masahiro Hosogai and Hiroki Noyama (Medical Students of Oita University Faculty of Medicine), and Masaki Saito (Oita Industrial Research Institute Material Science & Technology Division) Goro Sumimoto (Oita Yakuzashikai Kensa Center), Fumio Watanabe (Fukukiya Ryokan, Tsukano Cold Spring), and Yuji Saito (Tawaraya Ryokan, Rokkasako Cold Spring) for their cooperation.

References

- Bauer, M., Dopfmer, S. (1999). Lithium augmentation in treatment-resistant depression: meta-analysis of placebo-controlled studies. *J Clin Psychopharmacol*, 19, 427-434.
- Cipriani, A., Pretty, H., Hawton, K., et al. (2005). Lithium in the prevention of suicidal behavior and all-cause mortality in patients with mood disorders: a systematic review of randomized trials. *Am J Psychiatry*, 162, 1805-1819.
- Dawson, E.B., Moore, T.D., McGanity, W.J., et al. (1972). Relationship of lithium metabolism to mental hospital admission and homicide. *Dis Nerv Syst*, 33, 546-556.
- Geddes, J.R., Burgess, S., Hawton, K., et al. (2004). Long-term lithium therapy for bipolar disorder: systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Am J Psychiatry*, 161, 217-222.
- Karege, F., Schwald, M., Cisse, M. (2002). Postnatal developmental profile of brain-derived neurotrophic factor in rat brain and platelets. *Neurosci Lett*, 328, 261-264.
- Karege, F., Bondolfi, G., Gervasoni, N., et al. (2005). Low brain-derived neurotrophic factor (BDNF) levels in serum of depressed patients probably results from lowered platelet BDNF release unrelated to platelet reactivity. *Biol Psychiatry*, 57, 1068-1072.
- Manji, H.K., Moore, G.J., Chen, G. (2000). Clinical and preclinical evidence for the neurotrophic effects of mood stabilizers: implications for the pathophysiology and treatment of manic-depressive illness. *Biol Psychiatry*, 48, 740-754.
- Pan, W., Banks, W.A., Fasold, M.B., et al. (1998). Transport of brain-derived neurotrophic factor across the blood-brain barrier. *Neuropharmacol*, 37, 1553-1561.
- Poolsup, N., Li, W.P.A., de Oriveira, J.R. (2000). Systematic overview of lithium treatment in acute mania. *J Clin Pharm Therapeutics*, 25, 139-156.
- Schrauzer, G.N., Shrestha, K.P. (1990). Lithium in drinking water and the incidences of crimes, suicides, and arrests related to drug addictions. *Biol Trace El Res*, 25, 105-113.
- Schrauzer, G.N., de Vroey, E. (1994). Effects of nutritional lithium supplementation on mood: a placebo-controlled study with former drug users. *Biol Trace El Res*, 40, 89-101.
- Terao, T., Nakano, H., Inoue, Y., et al. (2006). Lithium and dementia: a preliminary study. *Prog Neuropsychopharmacol Biol Psychiatry*, 30, 1125-1128.

河川生態系に対する温泉排水の影響に関する研究

— 別府地域における河川水質と珪藻流出量の関係 —

京都大学大学院理学研究科附属地球熱学研究施設

山田 誠・三島 壮智
大沢 信二

大分大学教育福祉科学部人間福祉科学課程

酒井 拓哉

愛媛大学沿岸環境科学研究センター

齋藤 光代

要 旨

河川の生態系および沿岸域への温泉排水の影響を評価する目的で、別府市内を流れる河川の溶存化学成分および流下する珪藻量の測定を行った。統計的手法による解析の結果、温泉排水および生活排水の影響の程度が各河川で異なることが明らかとなった。その結果と流下する珪藻量とを比較し、さらに、各溶存イオン濃度と流下する珪藻量との相関を見ることで、温泉排水の河川への流入が流下する珪藻量の増加を引き起こしているかと推察された。一方、生活廃水による流下する珪藻量への影響は見られなかった。また、温泉排水の影響の程度が他の河川よりも強い平田川と春木川から別府湾へ流出する珪藻量が少なくとも年間10ton以上であると見積もられた。

1. はじめに

別府市には主な河川が6つあり、それらの河川を対象とした環境科学的研究がこれまでいくつか行われている。それらの研究では、主要溶存化学成分や溶存微量元素の化学分析結果から、温泉排水が河川水質に強い影響を与えているということが明らかにされてきた(川野・他, 1994; 川野・他, 1998; 大沢・他, 2007; 大沢・他, 2008)。一方で、インターネットや河川近隣住人からの情報では、これらの河川に熱帯性の魚類が多数生息していると言われており、著者らもその存在を目視で確認している。しかし、このような事実と温泉排水が河川に流入しているという事実がどのように結びつくのかは現在のところよくわかっていない。このように、温泉排水が河川生態系へどのように影響を及ぼしているかは現在のところ不明であるが、別府地域の河川が水質・生態系共に特異な性質を有していることは明らかである。また、これらの河川は別府湾へ直接流入していることから、温泉排水が沿岸域にもなんらかの影響を与えていることは想像に難くない。そこで本研究では、温泉排水が河川生態系および沿岸域にどのような影響を与えているかを評価することを最終目標とし、その第一段階として、生態系の根幹を成す植物プランクトン、特に温泉にも多く含まれる珪酸を利用する珪藻に着目して、河川を流下する珪藻量と各河川の水質的特徴との関係について考察を行った。

2. 調査地概要と調査方法

調査対象とした河川は、北から順に、冷川、新川、平田川、春木川、境川、朝見川の計6河川である。これらの河川は、別府地域をほぼ西から東へ向かって流下し、別府湾へと流れ込む。冷川を除く5つの河川は、流路がほぼコンクリート三面張り、人工排水路の体をなしている。また、これらの河川は支流も含めた流路長が3~6km程度と非常に短く、水深も50cm以下と非常に浅い。冷川を除く河川は、流下中に温泉湧出地を經由しており、特に新川、平田川、朝見川はそれぞれ柴石温泉、鉄輪温泉、堀田温

泉などの温泉地帯を流下して別府湾へと到達している。

調査はこれら6河川の非感潮域最下流部（冷川：HIY、新川：SIN、平田川：HTB、春木川：HAR、境川：SAK、朝見川：ASM）および平田川最上流部（HTA）で行なった（図1）。平田川最上流部の地点は温泉湧出地よりも上流に位置する。2009年3月より毎月採水および現地測定（気温・水温・電気伝導度・pH）を行い、採水した試料水の化学分析を行なった。溶存イオン濃度（ Li^+ 、 Na^+ 、 K^+ 、 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 、 Cl^- 、 Br^- 、 NO_3^- 、 PO_4^{3-} 、 SO_4^{2-} 、 HCO_3^- ）についてはイオンクロマトグラフィーおよび滴定法を用い、溶存無機珪酸（ SiO_2 ）および生物珪酸（河川を流下する珪藻量：BSi濃度）についてはモリブデンブルー法を用いて分光分析を行った。なお、BSi分析は、フィルター濾過で得られた懸濁物をアルカリ抽出法（DeMaster, 1981）で抽出した溶液を用いて行なった。また、平田川最上流部、平田川下流部および春木川については採水時に流速計を用いて流量測定を行った。

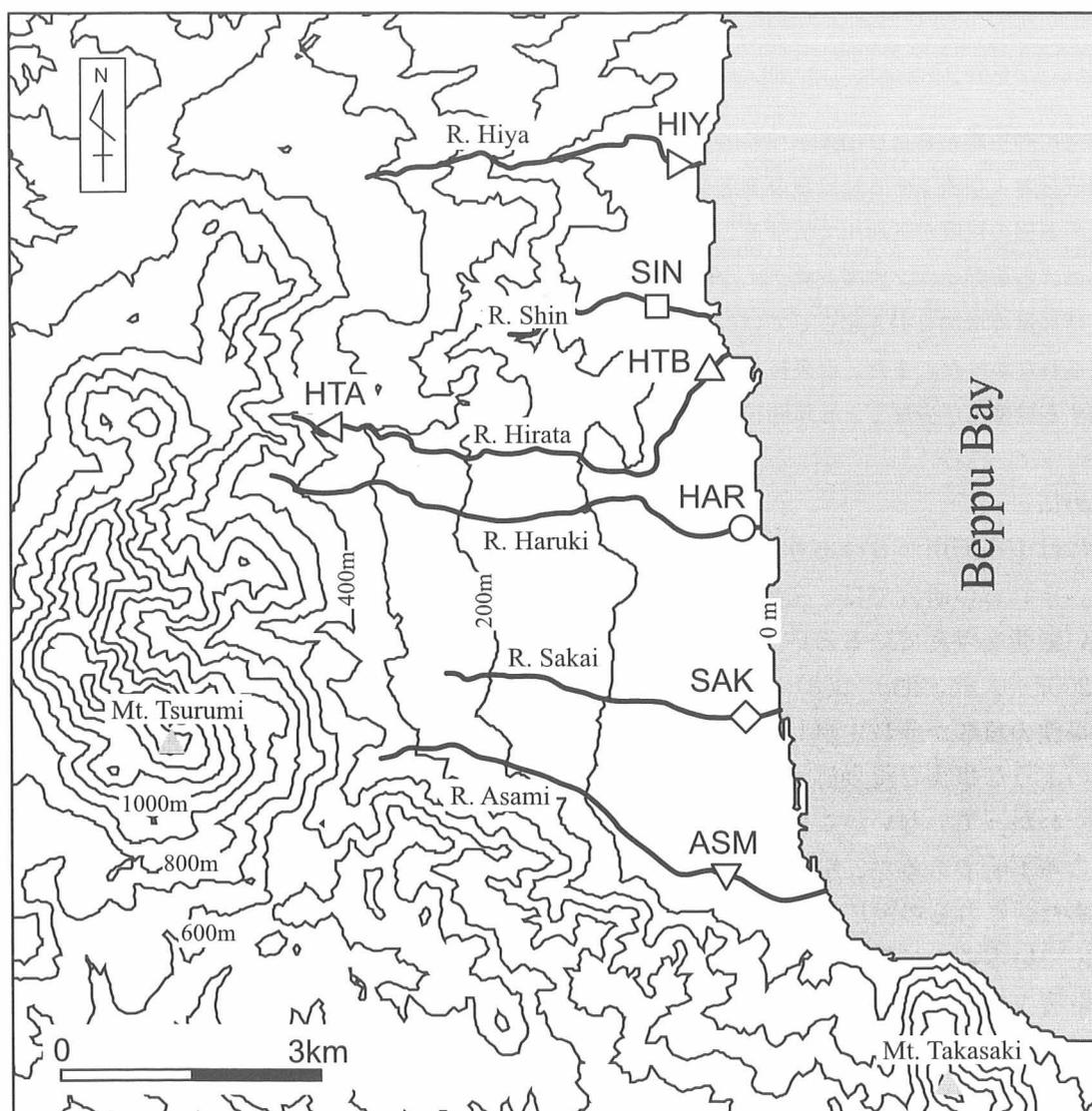


図1. 別府地域を流下する河川と採水地点

3. データ解析結果および考察

3-1. 河川の水温・水質および流下珪藻量の特徴

図2に河川水温と採水時に各採水場所で測定した気温の時系列データを示した。すべての河川の水温は、夏場をピークとする気温と同じ変動パターンを示した。また、冷川、平田川下流および境川を除い

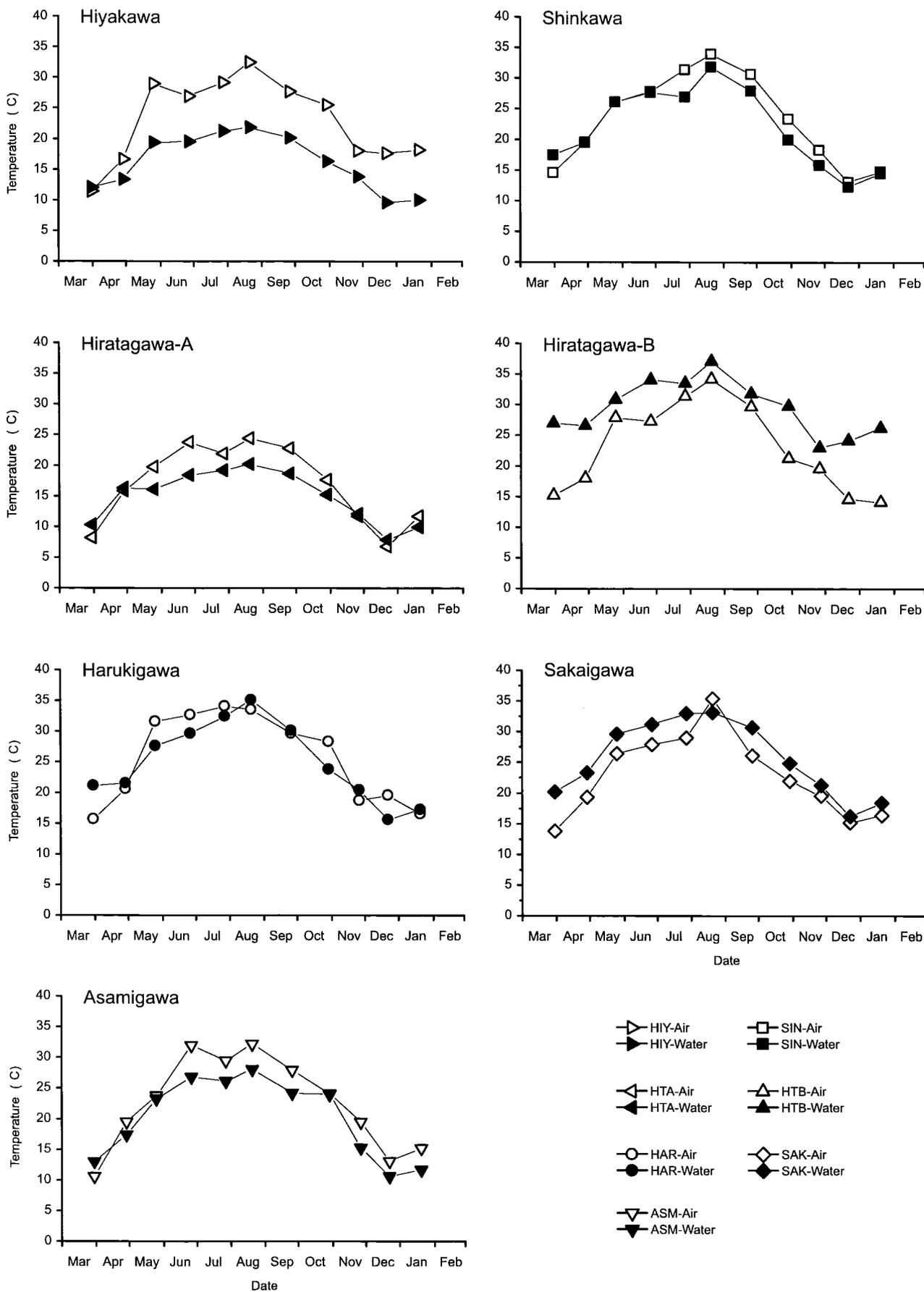


図2. 各採水地点の気温と水温

て、各河川水温は気温より若干低いかほぼ同じ程度の温度を示している。これは、これらの河川は水深が浅く、容易に流動中に気温と平衡に達してしまうためだと推察される。冷川は気温に比べ水温が低い傾向を示しているが、この原因には、冷川の流路長が他の河川よりも短いこと、河床が自然状態のまま残っており河床下から地下水流入の可能性があると、比較的水深が深いこと、などがあると考えられる。一方で、平田川下流と境川は年間を通じて水温の方が気温より高いという他の河川とは全く異なる傾向が見られた。特に、平田川下流は年間を通じて水温が20℃を下まわることなく、1月の気温14.1℃の時も26.2℃の水温を保っている。境川は平田川下流とは若干異なり、水温の方が気温よりも高いものの、気温と大きく差が開くことはない。

主要溶存イオンの総量は、新川と平田川下流を除いて、年間を通じて大きな変動は見られない(図3)。新川は6月に非常に高い値を観測したが、それ以外の月はおおむね変動はない。一方、平田川の変動は他の河川に比べて大きいものの、安定して他の河川よりも高い濃度値を示している。これは、平田川には温泉排水が定常的に供給されているのに対して、新川では非定常的な供給がなされているためであると推察される。ただ、今回観測した中では新川の濃度異常は一度きりの現象だったため、その時だけ行われた供給なのか、非定常的な供給であるが、日常的に行われている供給なのかは現時点では不明である。いずれにせよ、時系列の変動パターンは各河川によって異なるものの、冷川と平田川上流を除く河川はいずれも総溶存イオン濃度は高く、影響の大小は別として、温泉の影響を受けていることは本データからも明らかである。朝見川については、温泉排水の影響を受けている河川の中で、年間を通じて明らかに総溶存イオン濃度値は低く、むしろ温泉排水の影響を受けていない冷川と平田川上流に近い値を示している。大沢・他(2007)は、朝見川では清浄な水の流入による一種の浄化作用があると述べており、この結果はその解釈と矛盾しない。温泉成分以外の成分に視点を移し、栄養塩類濃度(NO_3^- , PO_4^{3-} ,

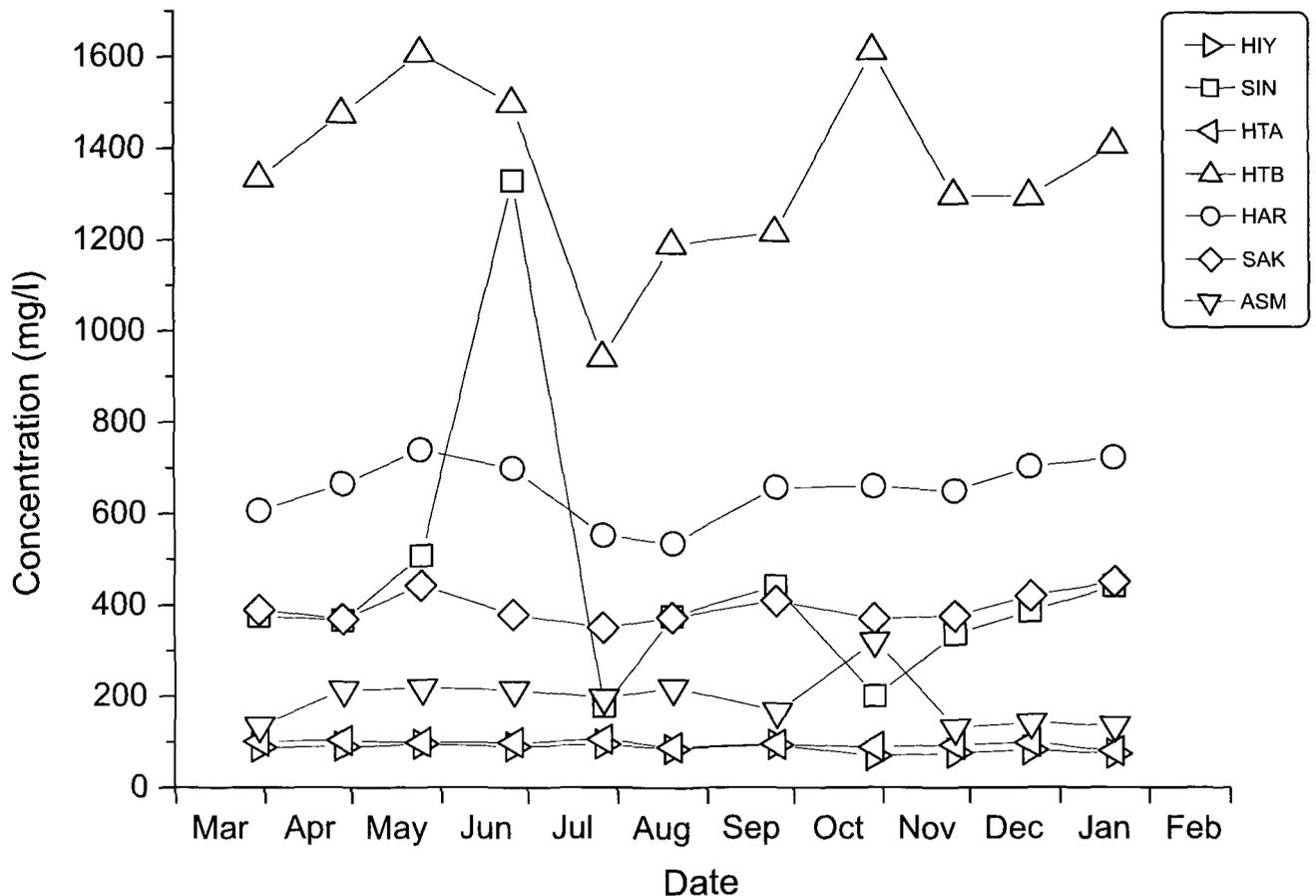


図3. 総溶存イオン濃度の時系列変化

SiO₂)とBSi濃度について見てみると(図4)、平田川下流、春木川および境川のNO₃⁻とPO₄³⁻濃度は季節によって変動するものの、年間を通して他の河川よりも高く、どちらのイオン濃度もおおむね春木川が最も高く、次いで境川、平田川下流の順に低い傾向を示す。一方、SiO₂とBSi濃度は平田川下流がひととき高く、次いで春木川が高い傾向を示し、NO₃⁻とPO₄³⁻濃度とは異なった傾向が見られた。

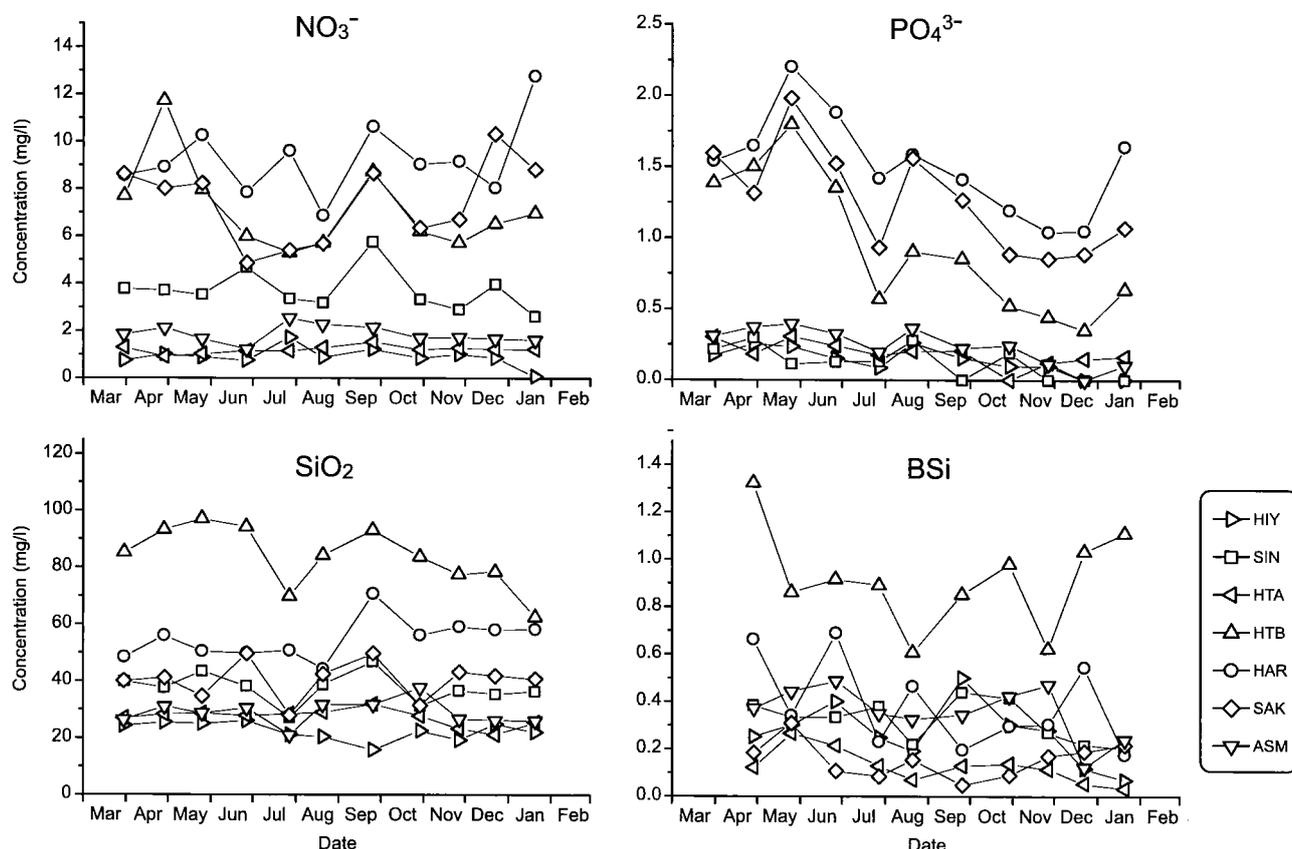


図4. 栄養塩類濃度およびBSi濃度の時系列変化

3-2. 統計的手法による河川の区分

上述のとおり、温泉排水の影響の程度は各河川で異なり、かつ、栄養塩類などの温泉排水以外の要因も各河川でその影響の受け方はさまざまである。そこで、これらの河川の水質を形成している因子がどういったもので、その影響がどの程度かを相対的に評価するために、分析した溶存イオン濃度および無機溶存珪酸濃度を用いて探索的因子分析を行った。因子分析は共通性の推定にSMC法を、因子軸の回転にバリマックス法を用いた。因子負荷量をみると(表1)2つの因子で累積寄与率が78.8%となり、本地域の河川水質を形成している因子はほぼこの2つの因子で代表されることがわかる。この2つの因子を個別にみると、因子1は温泉由来の成分と考えられるLi⁺、Na⁺、K⁺、Ca²⁺、Cl⁻、Br⁻、SO₄²⁻、SiO₂の因子負荷量が大きく、温泉排水の影響を表す因子と考えられる。因子2は温泉に通常あまり含まれない栄養塩類(NO₃⁻、PO₄³⁻)とHCO₃⁻の負荷量が大きい。河川への栄養塩類の供給は生活廃水が担っている場合が多く、本調査地域は下水道人口普及率が6割程度である(大沢・他, 2007)ことから、栄養塩類の負荷量が大きい因子2は生活廃水の影響を表す因子であると考えられる。各河川の2因子の因子得点を、X軸を因子1、Y軸を因子2としたグラフ上にプロットすると(図5)、平田川下流はX軸の正の側に、春木川と境川はY軸の正の側にプロットされ、明確に分かれる。これは、相対的に見て、別府の6河川の中で、河川水質への温泉排水の影響が大きいのが前者であり、生活廃水の影響が大きいのが後者であることを示している。また、春木川はX軸の正の側に、境川は負の側にプロットされること

から、春木川は境川よりも相対的に温泉排水の影響を強く受けていることがわかる。その他の河川は、X軸Y軸共にマイナス側にプロットされることから、上記3河川と比べて、温泉排水および生活廃水の影響の程度は相対的に小さいということが言えよう。新川については6月のデータのみ、温泉排水の影響が強くみられるが、これは前節で述べたとおり、非定常的な温泉排水の供給を表しているもので、その他の月はX軸Y軸共にマイナス側にプロットされることから、定常的には温泉排水の影響は相対的に小さいと考えられる。

表1. 各溶存成分の因子負荷量および寄与率

	Factor 1	Factor 2	Factor 3
Li ⁺	0.978	0.154	0.029
Na ⁺	0.965	0.124	0.203
K ⁺	0.979	0.108	0.092
Mg ²⁺	0.177	0.046	0.928
Ca ²⁺	0.784	0.205	-0.107
Cl ⁻	0.961	0.081	0.201
Br ⁻	0.950	0.066	0.259
NO ₃ ⁻	0.518	0.746	0.137
PO ₄ ³⁻	0.373	0.838	0.124
SO ₄ ²⁻	0.863	-0.087	0.246
HCO ₃ ⁻	-0.278	0.798	-0.107
SiO ₂	0.916	0.247	0.064
Factor Contribution rate (%)	61.6	17.2	9.5

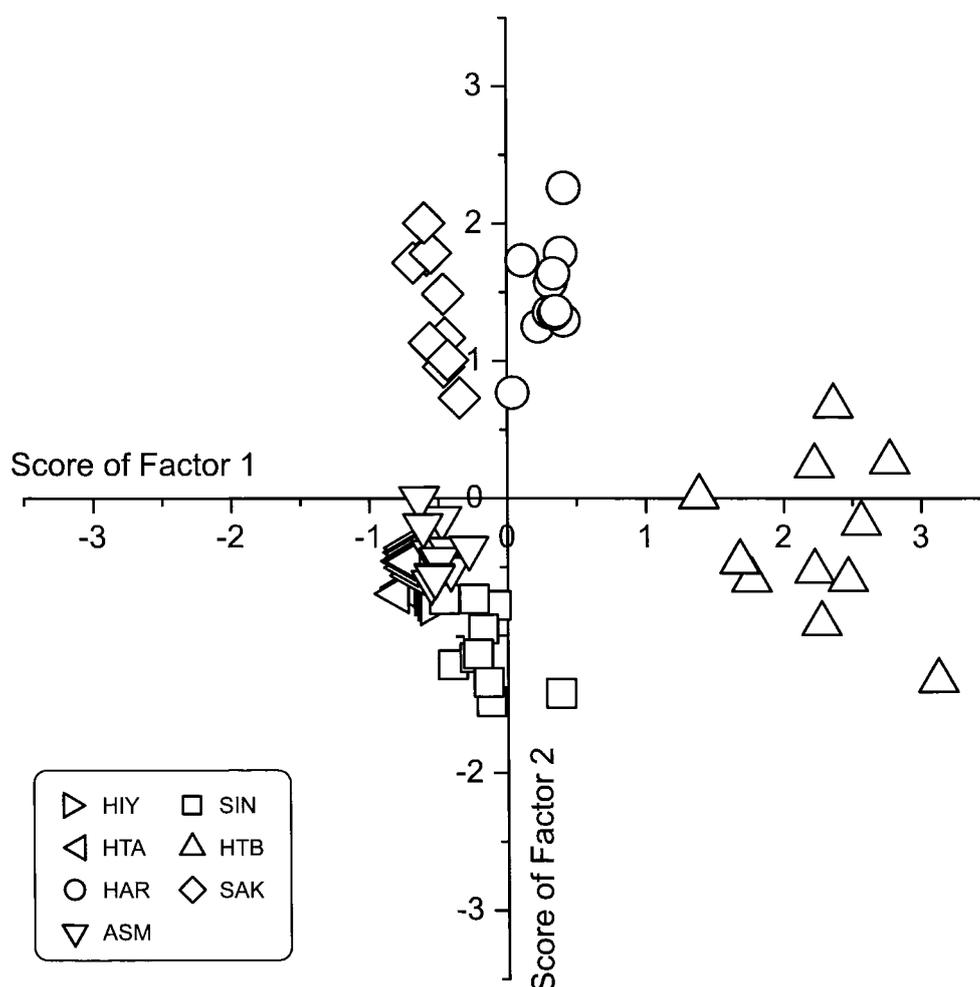


図5. 各河川の因子得点 (因子1 vs 因子2)

3-3. BSi濃度と水質との関係

前節の通り、因子分析の結果、別府の河川は相対的に、(A) 温泉排水の影響の強い平田川下流、(B) 生活廃水の影響が強く、温泉排水の影響も若干強い春木川、(C) 生活廃水の影響の強い境川、(D) どちらの影響も弱い冷川、新川、平田川上流、朝見川の四つに区分される。この結果と各河川のBSi濃度の平均値を示したものが図6である。図中のプロットは観測データの平均値を示し、エラーバーは月毎のばらつきを標準偏差として表したものである。これを見ると、エラーバーも含めば平田川下流が顕著に高いBSi濃度を示している。また、それほど顕著ではないが、春木川は他の河川に比べて若干BSi濃度が高い傾向を示し、温泉排水の影響が比較的強い平田川下流と春木川のBSi濃度が高くなる傾向が見られた。水温および各溶存成分とBSi濃度との相関関係(表2)を見ると、温泉由来と考えられる成分との相関性は非常に高く、その反面、珪藻の成長に必要な栄養成分となりうる栄養塩類(NO_3^- , PO_4^{3-})との相関はほとんど無い。また、図6で見てとれるように、生活廃水の影響の強い境川が、明らかに温泉排水の影響の強い平田川下流、春木川よりも低いBSi濃度を示していることから、生活廃水よりも、温泉排水がBSi濃度の増加に強い影響を与えていると考えられる。一方、水温とBSi濃度との相関を見ると、それほど強い相関は見られない。3-1節で述べたとおり、境川と平田川下流は年間を通して気温より水温の方が高いという共通の温度的特徴を持つ河川ではあるが、BSi濃度はこの2河川で明らかな差があり、このことから、水温がBSi濃度の増加に与える影響は大きくないと考えられる。以上のことから、BSi濃度、即ち河川を流下する珪藻量には温泉排水に含まれる成分が関係していることが推察

表 2. 溶存成分の濃度相関行列

	W.T.*	Li ⁺	Na ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Cl ⁻	Br ⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	SiO ₂	BSi
W.T.*	1													
Li ⁺	0.57	1												
Na ⁺	0.58	0.97	1											
K ⁺	0.57	0.99	0.99	1										
Mg ²⁺	0.49	0.21	0.36	0.27	1									
Ca ²⁺	0.38	0.79	0.83	0.82	0.04	1								
Cl ⁻	0.53	0.95	0.99	0.97	0.36	0.82	1							
Br ⁻	0.55	0.94	0.99	0.97	0.41	0.82	0.99	1						
NO ₃ ⁻	0.51	0.63	0.64	0.63	0.25	0.65	0.60	0.60	1					
PO ₄ ³⁻	0.55	0.50	0.48	0.47	0.22	0.42	0.45	0.43	0.84	1				
SO ₄ ²⁻	0.56	0.86	0.91	0.92	0.38	0.80	0.89	0.90	0.53	0.29	1			
HCO ₃ ⁻	0.08	-0.15	-0.19	-0.21	-0.11	-0.02	-0.22	-0.23	0.41	0.54	-0.38	1		
SiO ₂	0.58	0.95	0.93	0.95	0.24	0.78	0.91	0.90	0.71	0.57	0.85	-0.10	1	
BSi	0.43	0.81	0.80	0.81	0.04	0.66	0.79	0.78	0.36	0.25	0.71	-0.28	0.73	1

*W.T. : Water Temperature

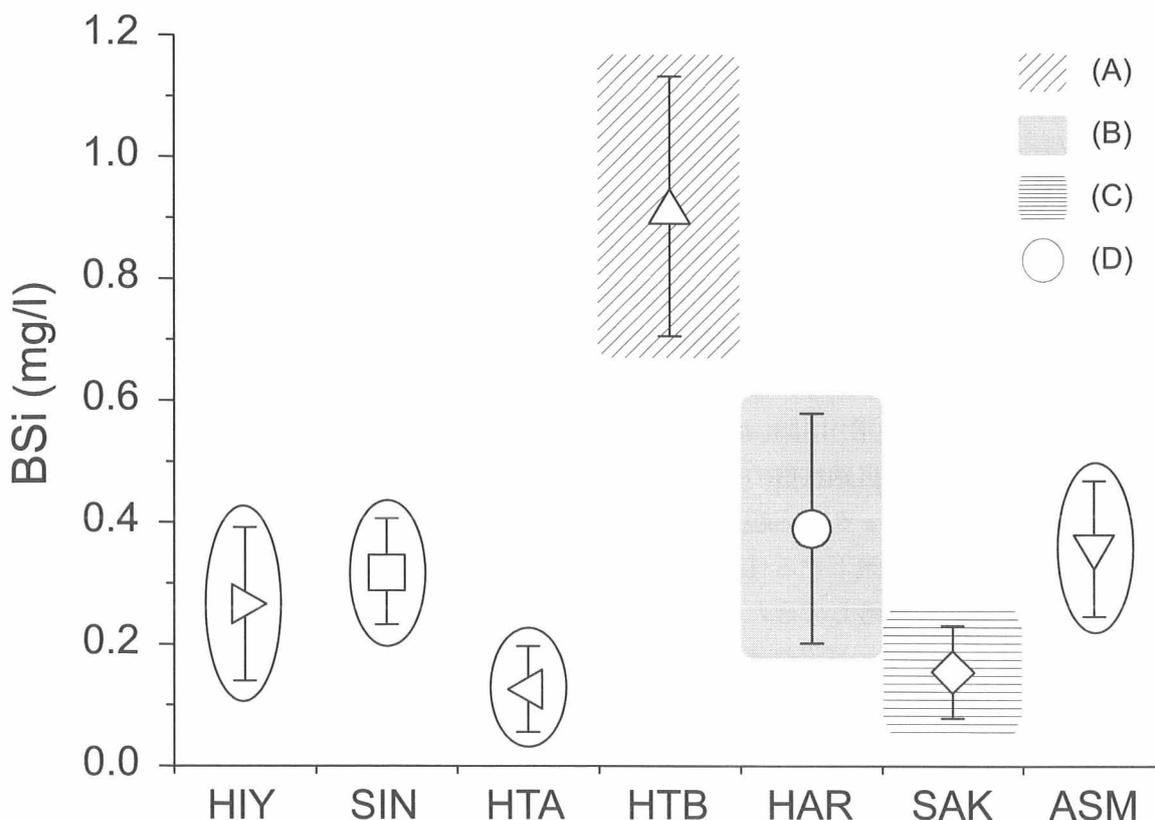


図6. 各河川の平均BSi濃度と観測値の標準偏差（エラーバー）

される。しかし、表2の濃度相関行列を見る限り、温泉由来成分すべてがBSi濃度と良い相関を示すので、どの温泉成分が流下する珪藻量に強く関係しているのかは現時点では特定できない。少なくとも、温泉排水の溶存成分が河川を流下する珪藻量に一定の影響を与えていることは明らかだということは言えよう。

3-4. 別府湾へ流入する珪藻量

平田川下流および春木川については流量観測も同時に行っている。そこで、これらの温泉排水の影響の強い2つの河川流量およびBSi濃度から別府湾へ流入する年間珪藻フラックスを見積もった。なお、観測された河川流量は2つの河川共に年間を通して大きな変化は見られず、平田川下流は0.3m³/sec程度、春木川は0.1m³/sec程度であった。計算は各月の観測データから一日あたりの珪藻フラックスを求め、それらの値の平均値を使い年間珪藻フラックス量を計算した。求められた年間珪藻フラックスは、平田川下流で9.2ton、春木川で1.2tonとなった。2つの河川を合わせると少なくとも年間10ton以上の珪藻が別府湾へ流入している計算となる。この量の珪藻が別府湾沿岸域に到達することが沿岸域の生態系にどのような影響を与えるのかは今のところわからないが、自然状態を保っている冷川のBSi濃度に比べて平田川のそれは3倍以上の濃度であることを考えると、別府の河川は自然状態よりも数倍の珪藻量を別府湾へ排出していることが想定され、珪藻を捕食する生物にとってこの量は無視できない量であるのではないかと推察される。

4. おわりに

別府市を流れる6つの河川および平田川最上流部について、その溶存成分濃度および流下する珪藻量を調査し、河川水質と流下する珪藻量との関係を考察した結果、次のことが明らかとなった。

- (1) 別府市内を流れる河川は、相対的に温泉排水の影響が強い河川（平田川下流）、生活廃水の影響が強く温泉排水の影響もやや強い河川（春木川）、生活廃水の影響が強い河川（境川）、いずれの影響も弱い河川（冷川、新川、平田川最上流部、朝見川）に区分される。ただしこの結果は、対象河川の中での相対的な影響力の強弱を示すものであり、影響の弱いことが温泉排水が流入していないということを示しているわけではない。
- (2) 温泉排水の溶存成分は、流下する珪藻量に一定の影響を与えており、温泉排水の流入が流下する珪藻量の増加を引き起こしていることは明らかである。また、栄養塩類の流入が流下する珪藻量に何らかの影響を与えているという証拠は本地域では見られず、生活廃水の流入よりも温泉排水の流入の方が流下する珪藻量に影響を与えていることが示唆された。
- (3) 温泉排水の影響の強い平田川および春木川から別府湾へ流入する珪藻量は年間10ton以上と見積もられ、少なくとも、自然状態の数倍の珪藻量を別府湾へ排出していると考えられる。

本研究では沿岸域へのフラックスも視野に入れて研究を進めているため、流下する珪藻量と水質の関係について着目してきたが、流下する珪藻は河床や護岸壁等で生育するものであり、今回測定した珪藻量はそういった生育場から剥離してきたものが大半であると考えられる。河川生態系への影響をさらに正しく評価するにはそういった河床や護岸壁等で生育する珪藻の量を直接測定し評価することも必要であると考えられ、今後の課題としたい。また、今回は珪藻量と関係する成分の特定にまでは至らなかった。その点についても今後さらなる研究が必要であると考えられる。

参考文献

- Demaster, D. J. (1981) : The supply and accumulation of silica in the marine environment. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 45, 1715-1732.
- 川野田実夫, 小石哲史, 金子敦, 志賀史光 (1994) : 別府市の水系と水質. 「別府市の自然環境学術調査報告書」, 85-102, 別府市自然環境学術調査団, 大分.
- 川野田実夫 (1998) : 別府湾周辺域の水系と水質. 「地域総合研究論文集 別府湾沿岸地域-自然・社会・教育-」, 29-38, 大分大学教育学部, 大分.
- 大沢信二, 山崎一, 高松信樹, 山田誠, 網田和宏, 加藤尚之 (2007) : 温泉から河川への有用金属元素の流出-未利用温泉資源量に関する基礎調査と研究-. 大分県温泉調査研究会報告, 58, 21-30.
- 大沢信二, 渡邊康平, 高松信樹, 加藤尚之 (2008) : 未利用温泉資源量に関する基礎調査と研究 (II) -温泉から河川への有用金属元素の流出量-. 大分県温泉調査研究会報告, 59, 13-19.

両子山火山噴出物の記載岩石学的研究

京都大学大学院理学研究科附属地球熱学研究施設

三好雅也・柴田知之

要 旨

大分県国東半島に分布する両子山火山噴出物の岩石記載を行い、それらの記載岩石学的特徴を調べた。複数試料について記載を行った結果、両子山火山噴出物には少なくとも以下の3タイプの斑晶鉱物組合せがみとめられることが明らかになった：A) 黒雲母+単斜輝石+普通角閃石+斜長石+石英、B) 単斜輝石+普通角閃石+斜長石、C) 普通角閃石+斜長石。両子山火山噴出物が普通角閃石に富むことは、大分県の他の第四紀火山噴出物と共通の特徴であり、そのマグマ起源が沈み込んだ海洋プレートの部分溶融であるというモデルと調和的である。

1. はじめに

火山噴出物に含まれる鉱物の組合せおよび全岩化学組成、鉱物化学組成などの岩石学的データは、温泉の熱源となりうるマグマ溜りの温度・圧力などの物理条件やマグマの起源を探る手がかりとなる重要な情報である。大分県国東半島の中心部に位置する両子山火山は、由布岳、鶴見岳、九重連山同様、大分県の主要な第四紀火山のひとつである。しかしながら、由布岳、鶴見岳、九重連山などと比較すると、火山地質や火山噴出物層序および岩石学的特徴に関して明らかになっていない部分が多い。今回著者らは、複数の両子山火山噴出物試料について岩石記載を行い、それらの記載岩石学的特徴を調べたので報告する。

2. 岩石記載結果

野外で採取した複数の両子山火山噴出物試料について薄片を作成し、偏光顕微鏡下で斑晶鉱物組合せ、斑晶モード組成、斑晶粒径、組織などの記載を行った。

両子山火山噴出物は、斑晶鉱物組合せを基に大きく3タイプに区分できる。便宜上、それらをタイプA：黒雲母単斜輝石含有普通角閃石デイサイト、タイプB：単斜輝石普通角閃石デイサイト、タイプC：普通角閃石デイサイトと記述する。以下に、それぞれのタイプについて詳しく述べる。

A：黒雲母単斜輝石含有普通角閃石デイサイト (図1A)

斑晶は斜長石 (4.0mm以下, 20vol.%)、単斜輝石 (0.3mm以下, 1 vol. %以下)、普通角閃石 (2.0mm以下, 5 vol. %)、黒雲母 (0.7mm以下, 1 vol. %以下)、石英 (1.8mm以下, 1 vol. %以下)、不透明鉱物 (0.5mm以下, 1 vol. %以下) である。単斜輝石斑晶は自形～半自形で存在する。普通角閃石斑晶は自形～半自形で存在する。黒雲母斑晶は半自形で存在し、その周縁部はオパサイト化している。斜長石斑晶は自形～半自形で存在し、周縁部や内部に汚濁帯をもつもの、篩状組織を示すものと清澄なものが共存している。石英斑晶はすべて融食形を示す。普通角閃石+斜長石、普通角閃石のみ、斜長石のみからなる集斑晶がみられる。石基は斜長石、不透明鉱物、ガラスからなり、ハイアロオフィティック組織を示す。

B：単斜輝石普通角閃石デイサイト (図1B)

斑晶は斜長石 (4.0mm以下, 18～22vol.%)、単斜輝石 (0.7～1.4mm以下, 2 vol. %以下)、普通角閃石 (4.0mm以下, 3～8 vol. %)、不透明鉱物 (0.5mm以下, 1 vol. %以下) である。単斜輝石斑晶は自形～半自形で存在する。普通角閃石斑晶は自形～半自形で存在する。酸化が著しい試料が多く、大部分の普

通角閃石斑晶が周縁部のオパサイト化、あるいは全体的なオパサイト化を示す。また、普通角閃石斑晶の仮像のみがみとめられる試料もある。斜長石斑晶は自形～半自形で存在し、周縁部や内部に汚濁帯をもつもの、篩状組織を示すものと清澄なものが共存している。普通角閃石+斜長石、斜長石+単斜輝石+不透明鉱物、単斜輝石+不透明鉱物、斜長石のみからなる集斑晶がみられる。石基は斜長石、不透明鉱物、ガラスからなり、ハイアロフィティック組織を示す。

C：普通角閃石デイサイト（図1C）

斑晶は斜長石（3.5mm以下，12～15vol.%）、普通角閃石（5.5mm以下，3 vol.%）、不透明鉱物（0.5mm以下，1 vol.%以下）である。普通角閃石斑晶の大部分は自形～半自形で存在するが、融食形を示すものもある。全体的に変質が著しく、普通角閃石斑晶の大部分は粘土鉱物等の二次的鉱物に置き換わり、仮像としてみとめられる。斜長石斑晶の大部分は自形～半自形で存在するが、融食形を示すものもある。周縁部や内部に汚濁帯をもつものと清澄なものが共存している。斜長石斑晶の汚濁帯に沿った変質がみとめられるものもある。普通角閃石+斜長石、普通角閃石+不透明鉱物、斜長石のみからなる集斑晶がみられる。石基は斜長石、不透明鉱物、ガラスからなり、ハイアロフィティック組織を示す。

3. 両子山火山噴出物の記載岩石学的特徴

前章で示したとおり、両子山火山噴出物には特徴的に普通角閃石斑晶が含まれる（3～8 vol.%）。大分県他の第四紀火山（由布岳、鶴見岳、九重連山など）を構成する主要な火山岩類は普通角閃石を含むデイサイト～安山岩であり（星住ほか，1988，鎌田，1997）、両子山火山噴出物はそれらと共通した記載岩石学的特徴を示すといえる。一方、県外南方に位置する阿蘇火山や霧島火山のデイサイト～安山岩は普通角閃石斑晶を含まない（小野・渡辺，1985，三好ほか，2005，井村・小林，2001）ため、それら火山噴出物とは明らかに記載岩石学的特徴が異なる。両子山火山を含む大分県第四紀火山が示す地球化学的特徴から、それらのマグマの起源として、沈み込んだ海洋プレートの部分溶融が提案されている（柴田，2009，柴田・三好，2010）。沈み込んだプレートの部分溶融によって生成される安山岩やデイサイトは、特徴的に普通角閃石を含むことが指摘されており（Defant and Drummond, 1990）、両子山火山噴出物が普通角閃石斑晶を含む観察事実と調和的である。

本研究で分類した両子山火山噴出物の3タイプは、斑晶鉱物組合せがやや異なるため、それぞれ噴火

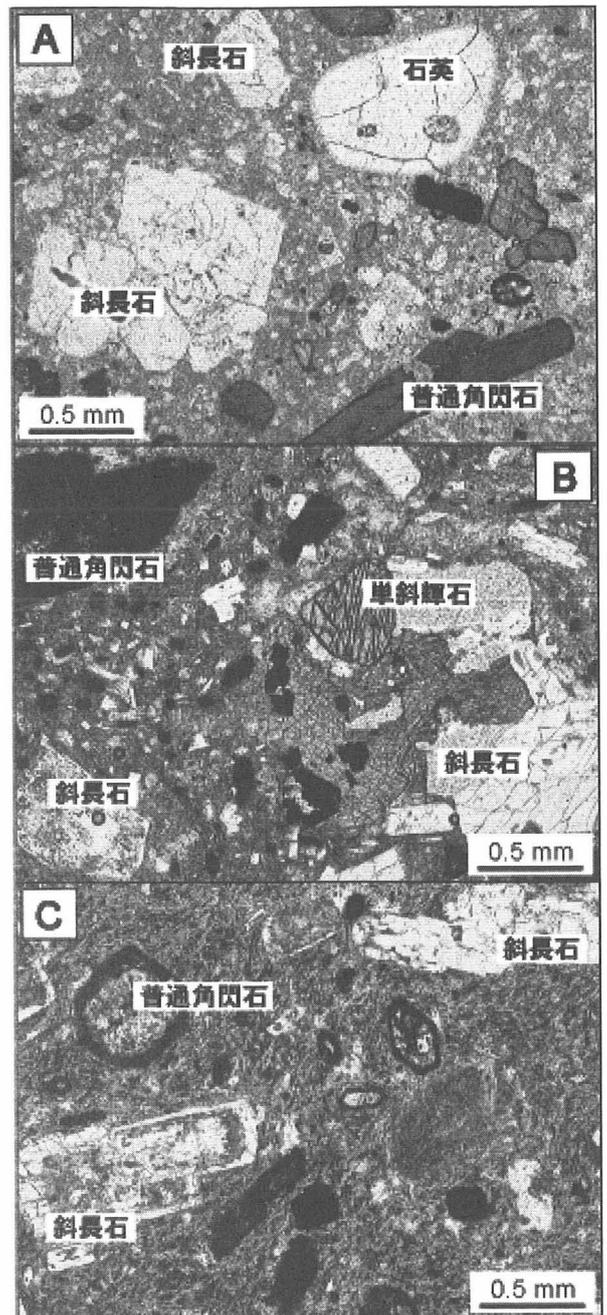


図1. 両子山火山噴出物の偏光顕微鏡写真
 A) 黒雲母単斜輝石含有普通輝石デイサイト
 B) 単斜輝石普通角閃石デイサイト
 C) 普通角閃石デイサイト

前のマグマ溜り内温度・圧力・含水量等の物理条件が異なった可能性がある。定性的には、黒雲母、石英を含むタイプAマグマが3タイプの中で最も低温条件下にあった可能性が考えられるが、斑晶鉱物に普遍的にみとめられる非平衡組織（融食形、汚濁帯など）は、噴火に至るまでにマグマが被った複雑な熱履歴を物語っている。今後マグマ溜りの物理条件についてさらに制約を与えるためには、含まれる鉱物の化学組成などを明らかにする必要がある。

参考文献

- Defant and Drummond (1990) Derivation of some modern arc magmas by melting of young subducted lithosphere, *Nature*, 347, 662-665.
- 星住英夫・小野晃司・三村弘二・野田徹郎（1988）別府地域の地質. 地域地質研究報告（5万分の1地質図幅），地質調査所，131p.
- 鎌田浩毅（1997）宮原地域の地質. 地域地質研究報告（5万分の1地質図幅），地質調査所，127p.
- 井村隆介・小林哲夫（2001）霧島火山地質図（5万分の1）. 火山地質図11，地質調査所.
- 三好雅也・長谷中利昭・佐野貴司（2005）阿蘇カルデラ形成後に活動した多様なマグマとそれらの成因関係について. *火山*, 50, 269-283.
- 小野晃司・渡辺一徳（1985）阿蘇火山地質図（5万分の1）. 火山地質図4，地質調査所.
- 柴田知之・三好雅也（2010）両子山の第四紀マグマのSr同位体による研究. 大分県温泉調査研究会報告（本報告）.
- 柴田知之（2009）大分県に産する第四紀マグマの起源. 大分県温泉調査研究会報告，60, 49-50.

MT法を用いた鶴見・伽藍火山周辺域における 地下比抵抗構造調査

京都大学大学院理学研究科附属地球熱学研究施設火山研究センター

宇津木 充・鍵山 恒臣
小森 省吾

要 旨

別府・湯布院地方の火山群は由布・鶴見火山群と呼ばれるが、その中心をなす火山の一つが鶴見火山である。最近の研究からこの火山は、別府温泉へ供給される地熱流体の供給域にあたりと考えられており、別府温泉の成り立ちを考える上でも非常に重要な火山である。こうした事から、この地域地下での地熱流体の分布、規模などについての情報を得るため我々は鶴見火山周辺でAMT探査を行い地下の比抵抗構造を求めた。

1. はじめに

別府・湯布院地方の火山群は由布・鶴見火山群と呼ばれるが、その中心をなす火山の一つが鶴見火山である。鶴見火山は、別府温泉の西方に位置する火山群で東西、南北約6 km四方の範囲に最高峰の鶴見岳をはじめ、内山、大平山、鍋山、伽藍岳など複数の火山体から構成されている。最近の研究では、鶴見火山は別府温泉への地熱流体の供給域にあたりと考えられており、こうした意味で別府温泉の成り立ちを考える上でも非常に重要な火山である。しかし、この地域地下での地熱流体の分布、規模などについての情報については十分得られていないのが現状である。こうした事から我々は、この地域でこの地域でMT観測を行い地下の比抵抗構造を求めた。

前回の報告（宇津木ほか，2008）では、鶴見火山の一部、伽藍岳について比抵抗調査を行った。その結果、地下の火山性流体の関与を受け低比抵抗を示す帯水層と思われる低比抵抗層が地下400～500mの位置に見られた。今回の研究では、この低比抵抗層がその周辺でどのような分布を持つかを明らかにするため、伽藍岳東側に位置する鍋山と、伽藍岳の南側、鶴見岳北側斜面の2点においてMT観測を行い、地下比抵抗を求めた。

2. 伽藍岳の比抵抗調査

今回の比抵抗調査の参考資料となる、宇津木ほか（2008）による比抵抗調査の結果をここに簡潔にまとめる。伽藍岳ではこれまで、大羽・他（1997）による自然電位及び電気探査、橋本・他（2003）による自然電位観測、田中・宇津木（2003）による地磁気連続観測、鍵山・他（2008）によるVLF-MT調査が行われており、浅部の電磁気学的情報が得られている。これらの情報に、さらに深部の情報を加えこの火山地下の比抵抗構造及び熱水分布についての情報を得ることを目的に、2009年3月に図1の観測点（7点）でMT観測が行われた。各観測点で得られたデータの比抵抗構造解析から、伽藍岳地下の火山性流体の分布として図2に示すモデルが推察された。爆裂火口原中心部（0906観測点）では比抵抗が極めて低い領域が存在しており、表層でも10 Ω m以下の低比抵抗値を示す。この事から火口原内では、温泉水が地下浅部まで達している事が伺える。実際、0906観測点のごく近傍には温泉水が湧出する場所があり、伽藍岳西腹の塚原温泉の源泉として利用されている。こうした、火山ガス中の溶存成分を豊富に含んだ温泉水の影響、及びその影響で地下岩石が熱水変質を受けることで、この地域で比抵抗値が低くなっていることが考えられる。この事は、大羽（1997）の自然電位観測、電気探査の結果からこの地下

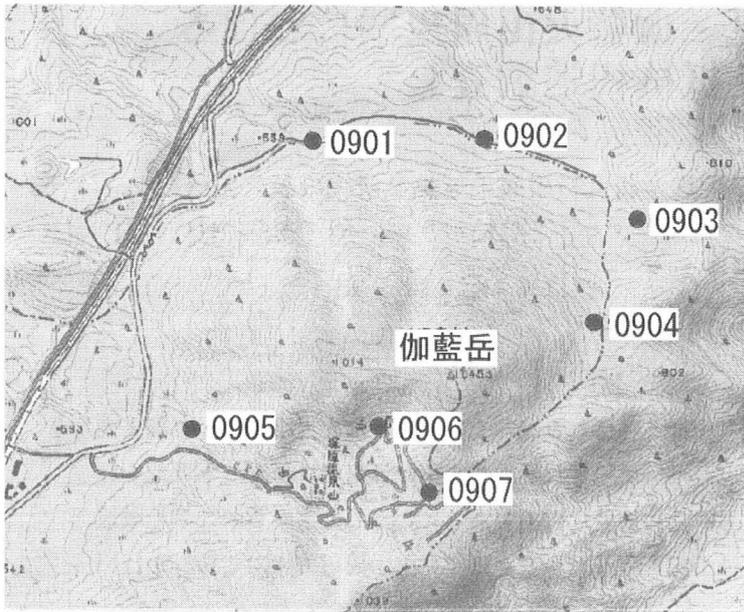


図1 伽藍岳におけるMT観測・観測点分布 (宇津木ほか, 2008)

に熱水の上昇流の存在が示唆されている事、鍵山・他(2008)による浅部比抵抗調査の結果から、火口原内に低比抵抗域が見出されている事なども調和的である。但しこの熱水上昇は、火口原直下に局在化しており、火口原西側では、火口原内の低抵抗に対応する低比抵抗値(抵抗値 $10\Omega\text{m}$ 以下)を示す層は地下400m、伽藍岳北麓、東麓では600~700mに見られる。火口原内の低比抵抗が火山ガスの関与を受けた地熱流体を表すと考えると、その連続性から溶存成分を多く含んだ地下水から成る帯水層は、この領域ではこうした深部に位置することが推察される。

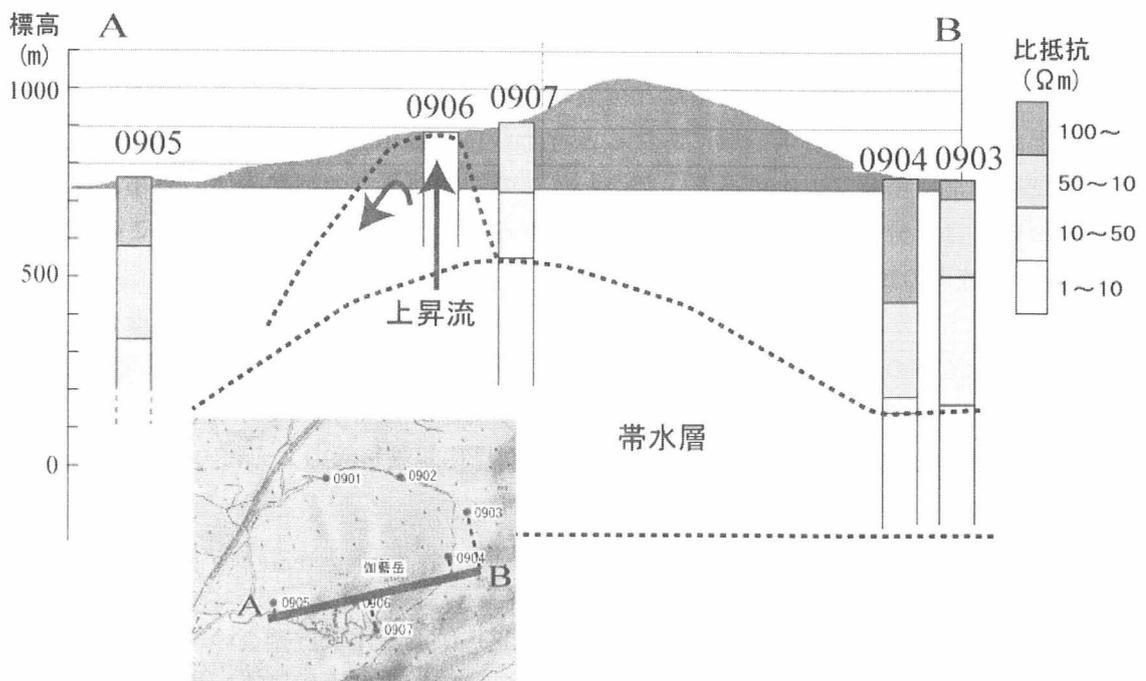


図2 伽藍岳地下の比抵抗断面と地下水分布概図 (宇津木ほか, 2008)

3. 鶴見岳、鍋山における比抵抗調査

我々は、2009年9月、伽藍岳の東側に位置する鍋山(NAB)、及び伽藍岳の南に位置する鶴見岳の北側斜面(TRM)の2点でAMT探査法による地下比抵抗調査を行った。MT(Magneto Telluric)法と呼ばれる地下探査法は、自然に生じる磁場擾乱と、それにより地中に誘導される電場の振幅から地下の電気特性を調べるもので、入力となる磁場擾乱の振幅と誘導電場の振幅の比(インピーダンス)及び両者の位相差が地下の電気抵抗(比抵抗)に関係することを利用する。特に、磁場擾乱(及びそれによる誘導電場)の周波数により探査深度が異なる(高周波ほど探査深度が浅く、長周波ほど深い)性質を利用し、

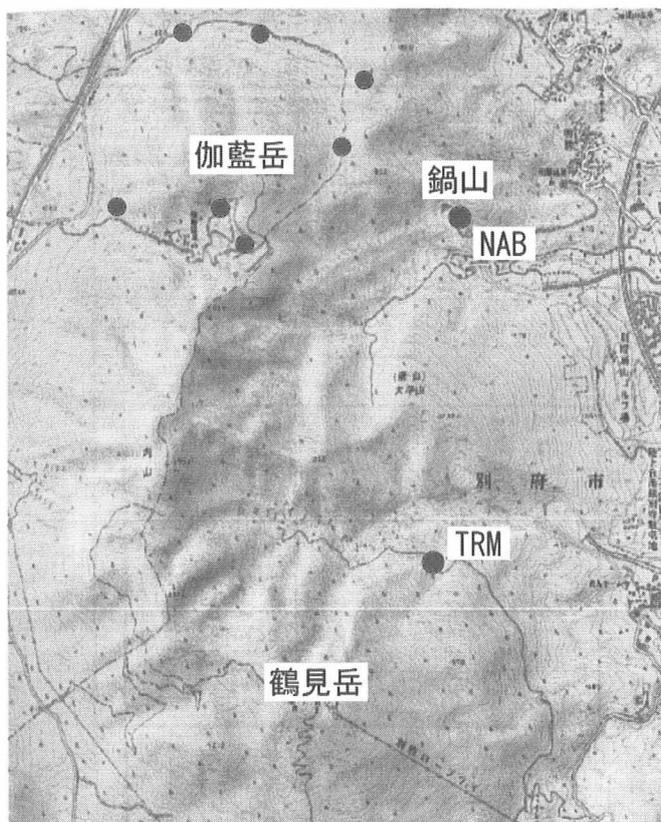


図3 鍋山 (NAB) 及び鶴見岳 (TRM) における MT観測点

一点の観測点データから地下の深さ方向の比抵抗分布を求めるものである。このうちAMT (Audio frequency Magneto Telluric) 法と呼ばれるものは、使用する周波数帯が10kHz～1 Hz程度の比較的高周波を使用するもので、地下数km程度までの比抵抗を高い解像度で求めることが出来る。使用したデバイスは、カナダPhoenix Geophysics社製のMTU-5 Aシステムで、測定機器はすべてGPSにより時刻同期を行い、一度に電場2成分と磁場3成分の時系列データを同時取得した。いずれの観測点でも、タイマー起動により、人口ノイズの影響がより少ない夜間(午後11時～翌朝6時)に観測を行なった。いずれの観測点でも、人口ノイズ源(特に別府市内の電車など)から遠いこともあり、ノイズレベルは比較的低く良好なデータが得られた。データ処理では、各測点の電場および磁場成分の時系列データを等間隔を多数のセグメントに分割、それぞれについて周波数解析を行い10.4k～0.35Hzの範囲の60周波数について、各成分のパワー

スペクトルデータを求めた。また、鍋山及び鶴見岳の観測点での同時観測データからリモートリファレンス処理を行った。この処理は、各観測点から得られた磁場データに対し、相関の高い信号のみを用いてインピーダンス、位相差を求めるものである。これにより、観測点近傍におけるノイズの影響を除くことが出来る。こうした処理により、概ね1 Hz程度までの探索曲線を求めることが出来た。

4. 地下比抵抗構造解析の結果

得られた探索曲線から、各観測点の地下比抵抗構造を求めた。この解析にあたっては各観測点地下の比抵抗構造が水平成層であることを仮定し、各々の層の比抵抗値、上端深度及び層厚を未知変数とし最小自乗的にそれらの値を求めた。ここで地下の水平成層が何層からなるか(仮定する層の数)は任意であるので、これを求めるため赤池情報量規準(AIC: Akaike Information Criterion)の方法による最適な層数を用いた。

図4に、今回の2観測点で得られた比抵抗構造を、図5にそれぞれの点における見かけ比抵抗・位相の実測値と、得られたモデルによる理論値とを示した。

鍋山観測点(NAB: 図4左)では、表層十数mは $100 \Omega \text{ m}$ の比抵抗値を示すが、その地下では $10 \Omega \text{ m}$ 以下の低抵抗値を示している。一般にMT法の場合、地下の比抵抗が低い場合探索深度は浅くなるが、NAB観測点での探索深度は地下400m程度である。鍋山では地下約200m、海拔450m程度に数 $\Omega \text{ m}$ 程度の比抵抗値を示す層が分布する。両者の上端深度の差は約250m程度である。鍋山では、地表に温泉の湧出があることを考えると、浅部まで見られる低比抵抗域は、地下の熱水及び熱水により変質を受けた層を表すものと考えられる。

これに対し、鶴見観測点(TRM: 図4右)では、表層250m程度の深さまで $100 \sim 5000 \Omega \text{ m}$ の高い抵抗値を示す。これは山体表面の溶岩流など比較的新しく変質等を受けていない層を表すと考えられる。

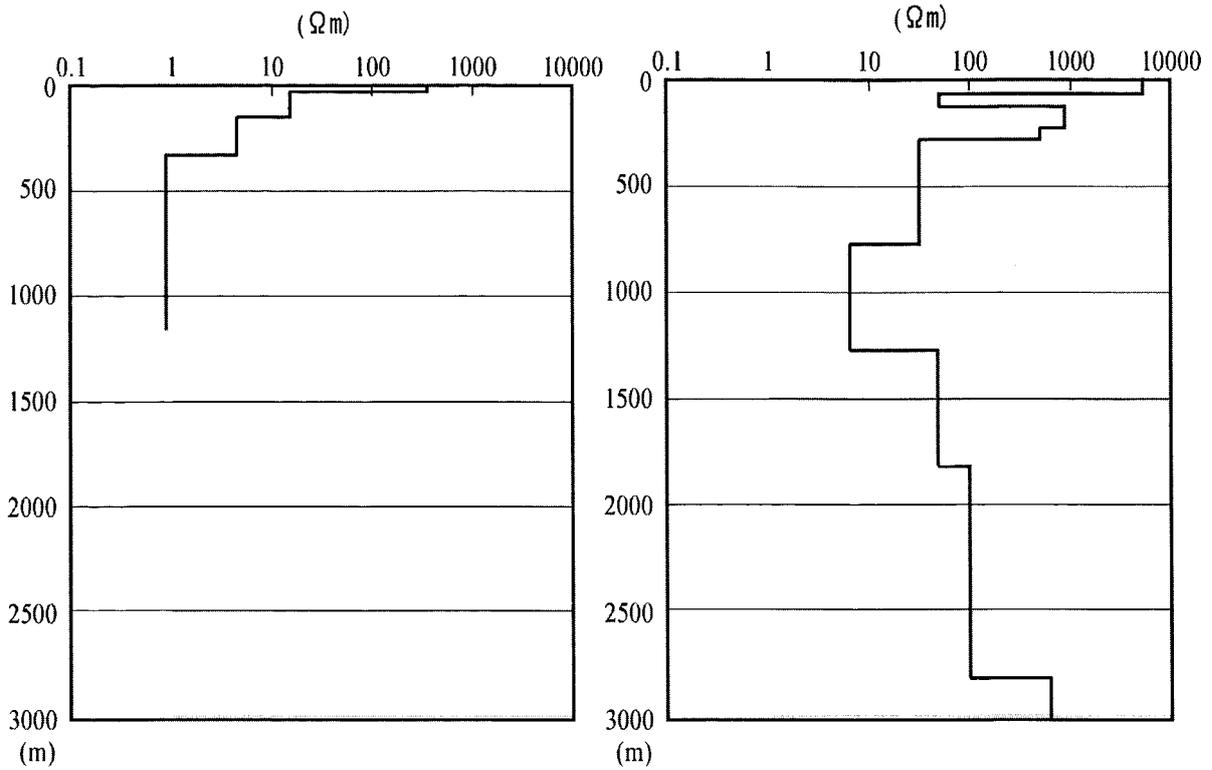


図4 鍋山（NAB：左）及び鶴見岳（TRM：右）観測点地下の比抵抗構造

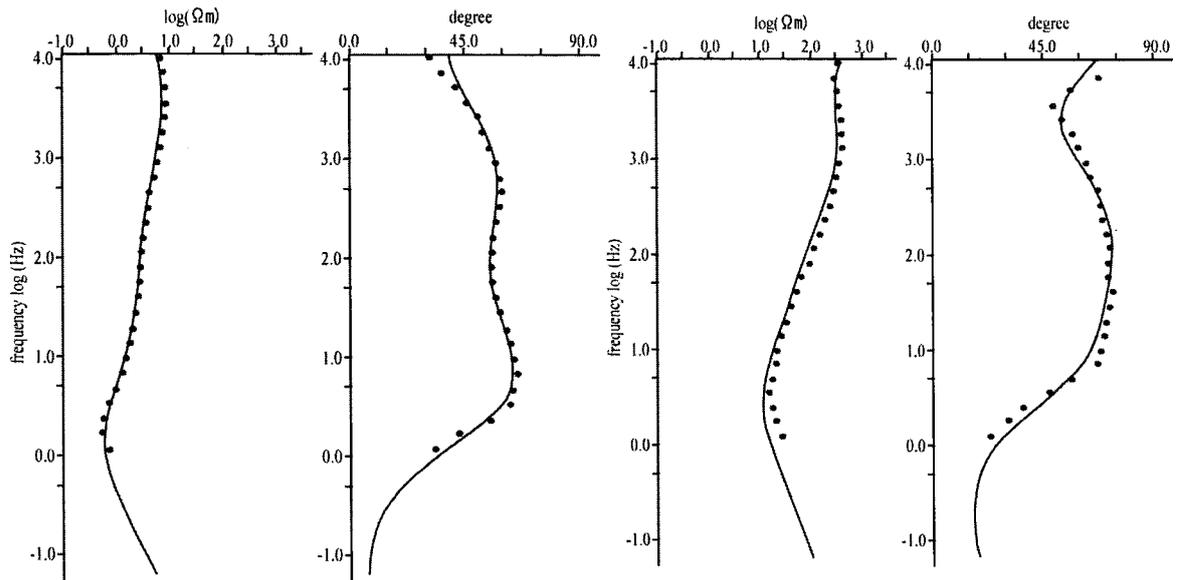


図5 鍋山（NAB：左）及び鶴見岳（TRM：右）観測点の実測値・理論値

鍋山（NAB）観測点（左）の見かけ比抵抗（左）、位相差（右）の実測値（●）及び計算値（実線）、鶴見（TRM）観測点（左）の見かけ比抵抗（左）、位相差（右）の実測値（●）及び計算値（実線）

その下位、250～750m程度には数十 Ω mの比較的低い抵抗値を示す層が、750～1250m程度には10 Ω m以下の低比抵抗層が分布する。さらにその下位には、数十～100 Ω m程度の抵抗値を示す層が地下3km程度まで分布することが明らかになった。鍋山観測点と、鶴見観測点地下の10 Ω m以下の低比抵抗値を示す層とを繋げると（図6）、上端深度は鶴見北斜面から鍋山にかけ緩やかに深くなっているのが分か

る。また、これに伽藍岳火口原東側の0903点の比抵抗柱状図を投影させると、鶴見と鍋山の10Ωm以下の層をつなげる直線上に0903の低比抵抗層上端面が乗る。この低比抵抗層上端深度の傾斜傾向が正しいものとする、鶴見岳側に熱水上昇域があり、それが伽藍岳、鍋山にかけて緩やかな傾斜を示しながら流下しているようにも見える。

但し、伽藍岳東側の観測点も含めた比抵抗構造と鍋山の比抵抗構造を比較すると（図7）、伽藍岳東

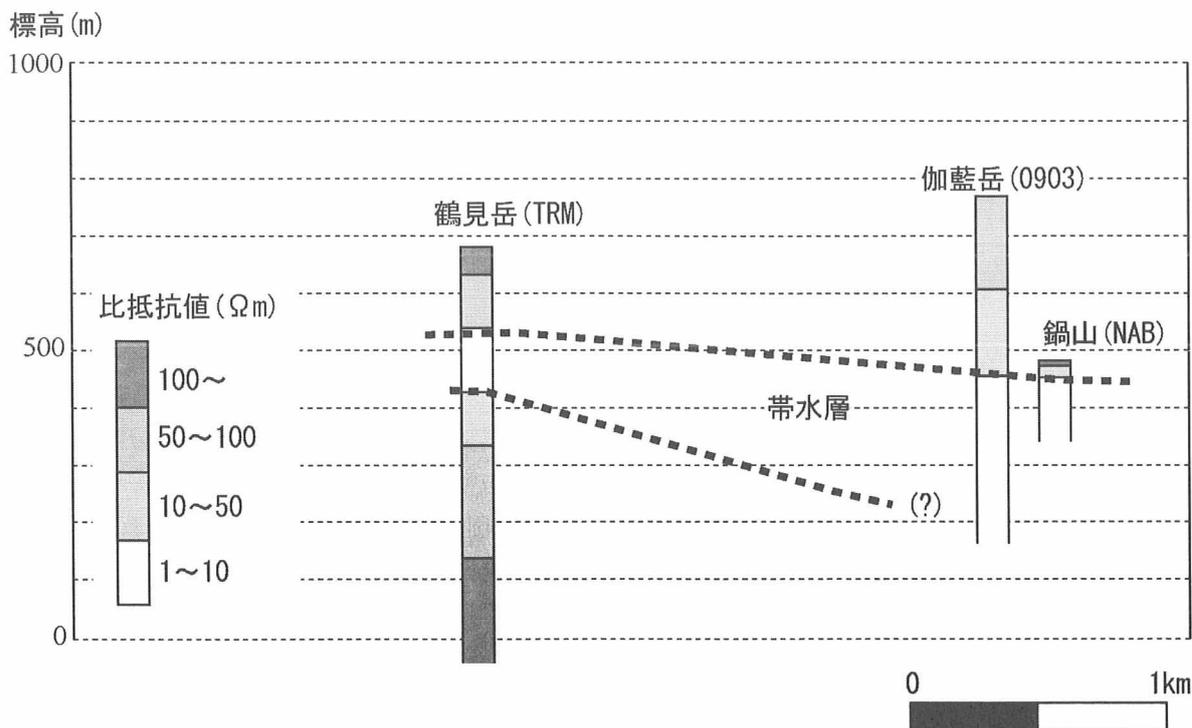


図6 鶴見 (TRM)、鍋山 (NAB) 及び伽藍 (0903) 観測点地下の低比抵抗層 (<10Ωm) の分布

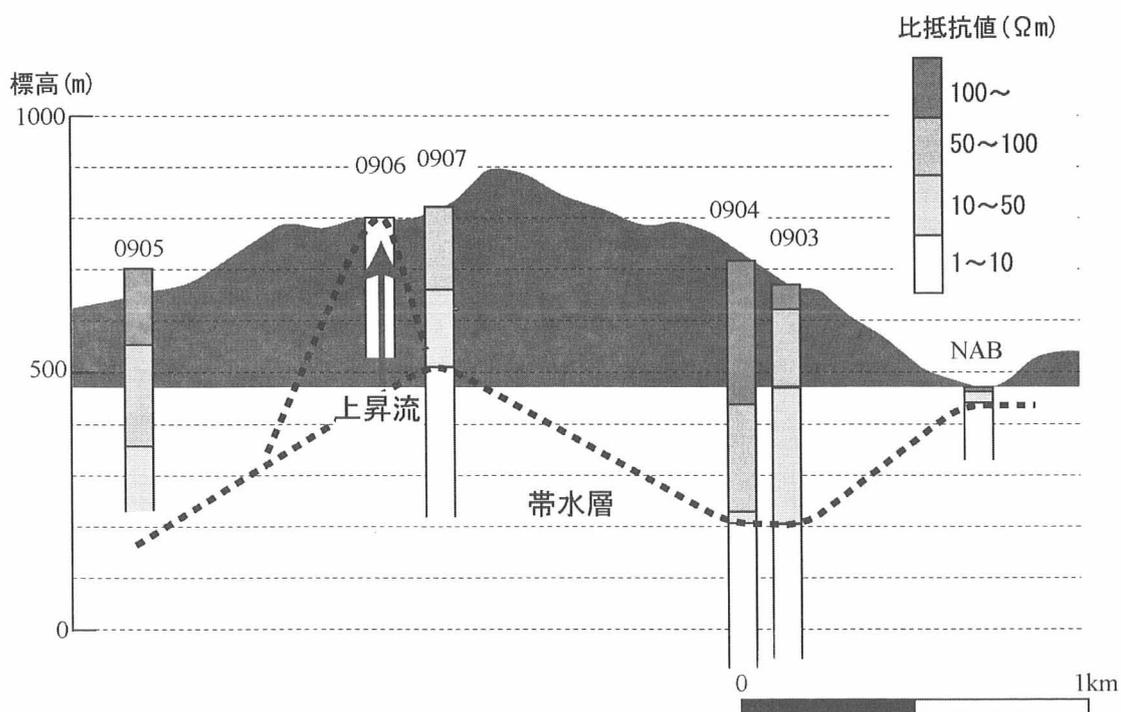


図7 鍋山 (NAB) 及び伽藍観測点地下の低比抵抗層 (<10Ωm) の分布

側では $10\Omega\text{m}$ 以下の低比抵抗値を示す層の上端深度が地下600~700m程度に見られ、鍋山より200~300m程深くなっているのが分かる。本報告では、伽藍火口原地下の低比抵抗層との連続性から、 $10\Omega\text{m}$ 以下の低比抵抗層が地下の帯水層を表すという仮定を置いているが、それを元にする、伽藍岳山麓で帯水層が深くなっている、或いは鍋山地下で上昇流があり熱水が浅部まで上昇しているといった解釈が可能である。しかし現在得られているデータではどちらが正しい解釈であるか判断することは出来ない。今後、伽藍岳西側、鍋山東側、また鶴見岳と鍋山とを結ぶ地域でさらに観測を重ね、データを蓄積することでより詳細な熱水分布に関する情報が得られると期待される。

参考文献

- 橋本武志・網田和宏・長谷英彰・田中良和（2003）：自然電位調査による鶴見岳周辺域の地下熱水系の推定，大分県温泉調査研究会報告，54，91-96.
- 鍵山恒臣・宇津木充・吉川慎・寺田暁彦（2008）：伽藍岳・塚原の地熱活動の周辺域への広がりに関する調査，大分県温泉調査研究会報告，59，35-39.
- 大羽成征・田中良和・由佐悠紀（1997）：伽藍岳の地熱調査（3）－自然電位測定による熱水流動系解析の試み－，大分県温泉調査研究会報告，48，13-20.
- 田中良和・宇津木充（2003）：地磁気変化を利用した地熱の推移に関する研究（3），大分県温泉調査研究会報告，54，85-89.
- 宇津木充・鍵山恒臣・井上寛之他（2008）：伽藍岳及びその周辺域における比抵抗構造調査，60，43-48.

火山灰による別府周辺の第四紀後期火山活動史

京都大学大学院理学研究科附属地球熱学研究施設

竹村 恵 二

要 旨

別府周辺の第四紀後期火山活動史を明らかにするために、別府地域の地質と火山活動史を概観し、課題の整理をするとともに、広域火山灰層の産出状況や由布・鶴見火山の活動の記録を保存している代表的露頭を紹介する。本論では、新たに別府市湯山西方の露頭の柱状図とその中に7300年前に九州南方海上で噴火した鬼界-アカホヤ火山灰) K-Ah火山灰)の下位に、2層のガラス質火山灰が認められたことを報告する。

1. はじめに

別府地域は日本有数の温泉地を形成しており、その背後には2つの活火山が位置している。この地域は、少なくとも数十万年にわたり、火山活動を継続してきた場所であり、その火山活動の歴史をひもとく、火山活動サイクルや火山活動の様相の変遷をあきらかにすることは興味深い課題である。

本論では、本地域の火山活動の概略をまとめるとともに、最近の時代である第四紀後期の火山活動史の課題をまとめ、火山灰を中心として、別府地域での代表的な地点の紹介をする。

2. 別府地域の地質概略と火山活動

別府地域はほぼ東西性の2本の断層（南の朝見川断層・由布院断層と北の別府北断層）によって、地溝地域、北部山地、南部山地に大きくわけられるので、地質層序はこの地域区分を参考にしてまとめられる（表1）。地質の概略を図1に示す。

表1 別府地域の地質層序表

時 代	南 部 山 地	地 溝 地 域	北 部 山 地
完 新 世		沖積層	
更新世後期		扇状地堆積物 鬼箕山火山 由布-鶴見火山群	
更新世中期	高崎山火山 水口山火山	高平山火山 実相寺山火山	西ノ台流紋岩 雛戸山安山岩
	小鹿山-雨乞岳 火山群 由布川火砕流 浜脇層	福万山-立石山 火山群	
更新世前期	倉木山安山岩		
鮮 新 世	観海寺安山岩		

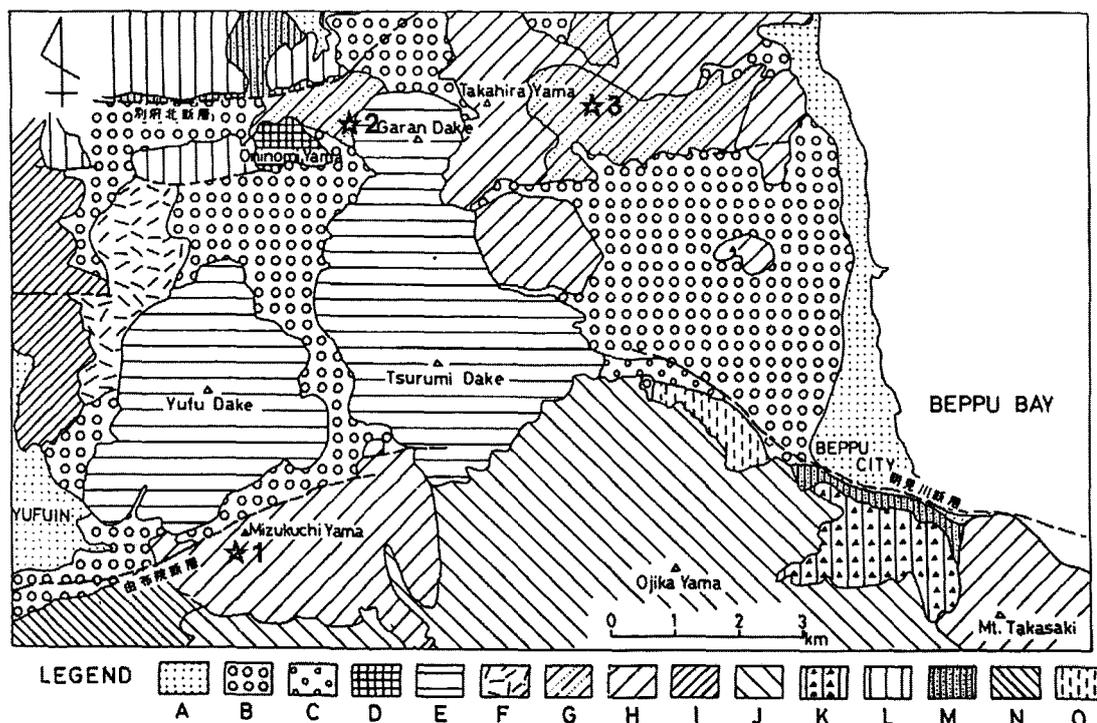


図1 別府地域の地質図 (星住ほか, 1988より編集) (竹村, 1995)

A: 沖積層, B: 扇状地堆積物, C: 段丘堆積物, D: 鬼箕山火山, E: 由布一鶴見火山群, F: 池代火砕流堆積物, G: 岩屑なだれ堆積物, H: 高平山一水口山火山群, I: 福万山一立石山火山群, J: 小鹿山一雨乞岳火山群, K: 由布川火砕流, L: 高陣ヶ尾安山岩, M: 浜脇層および寒水川層, N: 倉木山安山岩, O: 観海寺安山岩 ★1: 東石松地点, ★2: 塚原地点, ★3: 湯山地点

別府地域の地質はほとんど第四紀の火山岩類から構成されている。別府の約1.5km北方安心院町南部の津房川沿いの鶴や丸田地域に白亜紀の花コウ岩が露出しており、(星住・森下, 1993)、この花コウ岩が別府地域の基盤岩として別府地域の地下2-4kmに存在していると推測され、城島高原での掘削でも採取されている。

別府地域に露出するもっとも下位の岩石は観海寺安山岩で、別府南部山地の朝見川断層に沿って観海寺付近に分布する。変質した輝石安山岩の溶岩やプロピライトからなる。

その上位に倉木山を中心とした地域に輝石角閃石安山岩が分布し、これを倉木山安山岩と呼ぶ。年代値として、K-Ar法により $0.91 \pm 0.08\text{Ma}$ (Ma: 百万年前を示す単位)と $0.7 \pm 0.3\text{Ma}$ が得られている。この上位と考えられるのは、浜脇層(森山, 1972)で、別府市朝見付近から浜脇を経て高崎山北西までの約3kmにわたって朝見川断層に沿って分布する。別府地域では少ない水成堆積物で、層厚100m以上、砂・れき・シルトと軽石砂岩の互層よりなる。

浜脇層の上位には由布川火砕流堆積物が重なる。噴出年代は約60万年前とされる(星住, 鎌田, 1991; 竹村・檀原, 1993)。火砕流堆積物は角閃石-黒雲母流紋岩質で、弱溶結-非溶結である。基底に降下軽石層がみられる。別府南方山地に広く分布しており、由布川渓谷の景観を作り出している。別府市街地の扇状地域でのボーリングでも見いだされている。層厚は大分川沿いの小倉山で最大200mである。

小鹿山一雨乞岳火山群が由布川火砕流の上位に重なる。南部山地のほとんどの部分を占め、主に輝石安山岩の溶岩流からなる。雨乞岳火山では、 $0.58 \pm 0.06\text{Ma}$ のK-Ar年代測定値が報告されている(星住・鎌田, 1991)。雨乞岳西方の城ヶ岳火山は輝石安山岩溶岩流が累重した火山である。小鹿山火山は輝石安山岩の溶岩と火砕流からなる。層厚は船原山-小鹿山付近でもっとも厚く500-600mに達する。特に小鹿山火山の最下位に位置する乙原溶岩は別府市街地に面した急崖を作っている。年代は $0.46 \pm 0.11\text{Ma}$ (星住・鎌田, 1991)と報告されている。少なくとも一枚の厚さ10-20m程度の6枚の溶岩流

が確認できる。北部山地の鹿鳴越の輝石安山岩もこの時期の活動である。また、地溝西部では角閃石安山岩からなる福万山—立石山火山群の活動が起こっている。福万山火山は 0.46 ± 0.05 MaのK-Ar年代測定値が得られている。別府北断層の北部山地には、鹿鳴越火山を覆って、西の台流紋岩が分布する。年代は 0.38 ± 0.04 Maが得られている。溶岩は、流理構造が顕著な部分や全くガラス質の部分からなる部分などからなる。層厚は200m程度とされる。

上記の火山岩類をおおむね関係で、地溝内での角閃石安山岩類が分布する。高平山・水口山・実相寺山・高崎山などである。

最上位は由布岳・鶴見岳を形成した地溝中央部の角閃石安山岩の活動である。これらは3万5千年前以前から現在まで活動が続いている（小林，1984）。鶴見岳火山は溶岩円頂丘を主とした火山であり、大きく火山体を形成する主火山体噴出物と後期の活動の山頂溶岩と4つの溶岩円頂丘からなる活火山である。主火山体噴出物は角閃石安山岩溶岩と火砕物からなる。新期の活動である溶岩円頂丘は内山北、内山、南平台、鞍ヶ戸岳北部に分布する。山頂溶岩は鶴見岳山頂から鳥居、堀田、境川の3方向に分布する溶岩で、角閃石安山岩からなる。鶴見岳北方には伽藍岳が位置し、噴気活動がさかんである。2つの溶岩円頂丘からなり、岩石は角閃石安山岩である。伽藍岳の西方塚原ではかんらん石安山岩質からなる鬼箕山とよばれるスコリア丘が分布している。スコリア丘ではスコリアや火山弾がみられる。ここから流れ出た溶岩流は粘性が低いので扇状に西方へ広がっている。

別府市街が広がる火山性扇状地は、少なくとも500mの厚さがあり、輝石安山岩質の礫を主体とする下部と角閃石安山岩を主とする上部に分けられている。（森山，1972）。

由布・鶴見岳の最新の活動は、2000年から1500年前頃の由布岳火山灰の噴出、由布岳山頂溶岩の流出がもっとも顕著なものであるが、歴史時代にも三代実録に貞観9年（867年）鶴見岳噴火の記録が残されている。また、伽藍岳の塚原鉾山で2回の火山性堆積物に取り込まれた木材の放射性炭素年代測定が行われ、下位の試料が約1600–1800年前、上位の試料が約1100年前の年代を示すことが明らかになった（竹村，1994）。この年代は歴史時代にあたり、由布岳・鶴見岳の活動との関連や平安時代に記録される鶴見岳噴火との関連が注目される。

3. 別府第四紀後期火山活動史の課題

別府周辺の第四紀後期火山活動の痕跡は、由布・鶴見火山の溶岩や火砕岩分布域、周辺の土壌・火山灰の分布域、別府湾の堆積物中に残されている。現在の活火山活動に連なる由布・鶴見火山群の活動の中では、鶴見岳最新期溶岩の時代が、別府の火山活動を考える上で重要な課題である。最近、火山灰層序学的手法・岩石学的手法・古地磁気学的手法によるデータが蓄積されており、鬼界アカホヤ火山灰降灰時期（約7,300年前）より古い時代の噴出が想定されている（藤沢ほか，2002, Takemura et al., 2007, Saito et al., 2008, Fujii et al., 2008など）。

周辺の土壌・火山灰層が地表に堆積している場所では、由布・鶴見火山地域からのみならず、遠方の南九州や阿蘇等からの広域火山灰も挟まれている。代表的な露頭のひとつは由布岳南の由布院断層の南側に位置する東石松の露頭（露頭1：写真1）であり、ここでは、阿蘇4火砕流から現在までの周辺の火山活動の歴史が保存されている。この露頭では、火山灰分析・測色連続測定などの情報が得られている（Takemura et al., 2007など）。

また、別府から由布院へ抜ける塚原の道路沿いの露頭（露頭2：写真2）では、約2000年前の由布岳火山の活動による由布岳火山灰と鬼界アカホヤ火山灰（約7,300年前）が黒ボクに挟まれている状況がよく観察できる。

今回は、あらたな代表的な地点として湯山西方の露頭について、次節で記載する。

また、別府湾には、完新世の連続的な内湾堆積物があり、その中には、周辺からの降下火山灰や流入

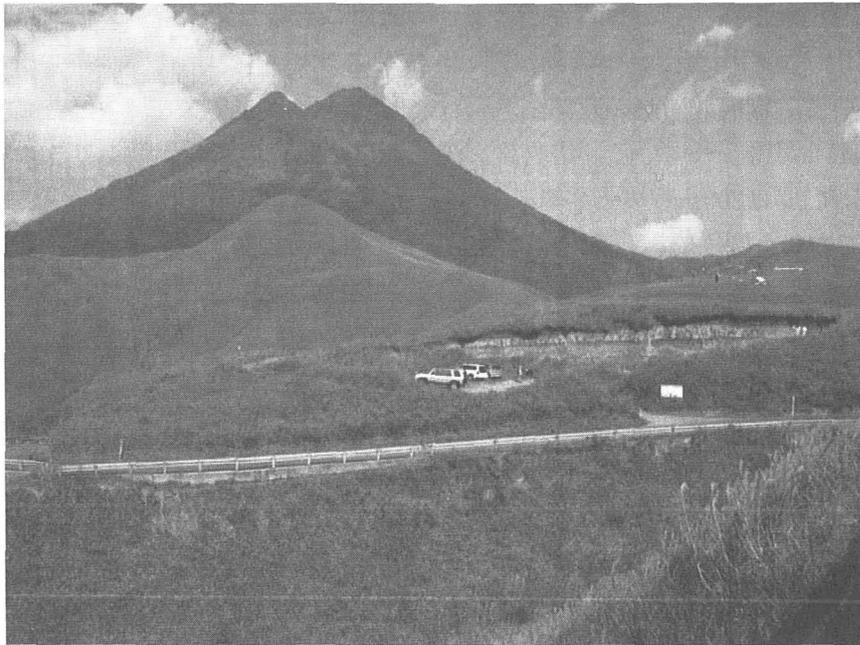


写真1 由布岳南方，東石松の火山灰露頭



写真2 塚原道路沿いの露頭：下位のオレンジ色（写真では白色）がK-Ah火山灰，中位の白色部が由布岳火山灰である

による火山起源物質が含まれており、南九州の鬼界カルデラから噴出した7,300年前の鬼界アカホヤ火山灰（K-Ah）以降に少なくとも5回の火山活動の痕跡が認められている（Takemura, 1995など）。これらの情報も別府周辺の第四紀後期の火山活動を考察する上で重要である。

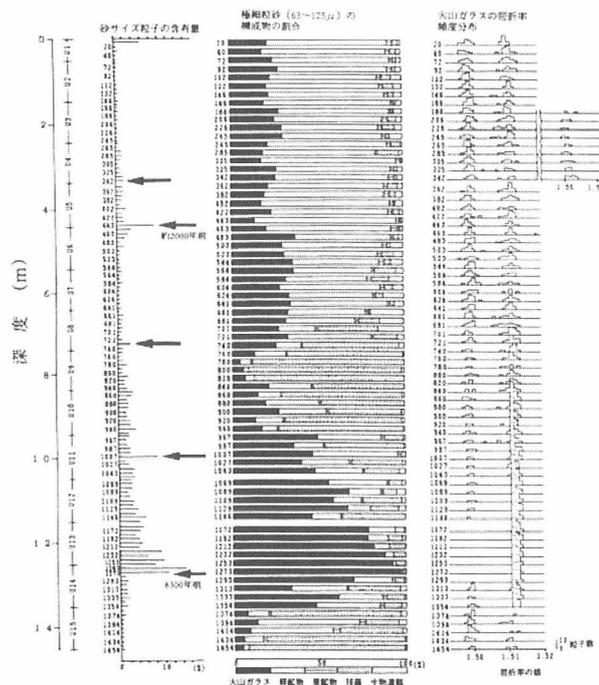


図2 別府湾の堆積物に認められる火山灰層準 (Takemura, 1995)

4. 湯山の露頭記載

本露頭は、別府市湯山西部の道路沿いの崖 (33° 19′ 21.8″ N, 131° 27′ 05.8″ E) で、火山灰・土壌の地層が約6 m観察できる。柱状図を図3に示す。現在、広域火山灰層序からの年代推定等を実施しているが、これらの火山砕屑物の由来と年代をあきらかにすることで、別府周辺の第四紀後期の火山活動史を編むための重要な露頭である。現在までの、知見についてまとめる。試料採取を7層準で実施した。このうち、顕微鏡下で観察した125~63μ (3φ~4φ) の試料では、3試料が非常に透明なガラス質であり、広域に分布する火山灰の可能性が示唆される。試料1, 5, 7である。1は、約0.4m層準のオレンジから褐色の火山灰で、非常にガラス質で、brown glassを含んでいる。別府周辺に分布する鬼界-アカホヤ火山灰 (K-Ah火山灰) であると考えられる。試料5は、パミス型・バブルウォール型を含んでいる。試料7は粒子中にバブルが含まれる厚手の透明ガラスが多く含まれる特徴を有するガラス質火山灰である。他の4試料も、鉍物粒子にガラスが付着したり、自形の重鉍物がみられるなど、近距離での火山爆発の痕跡を示している。

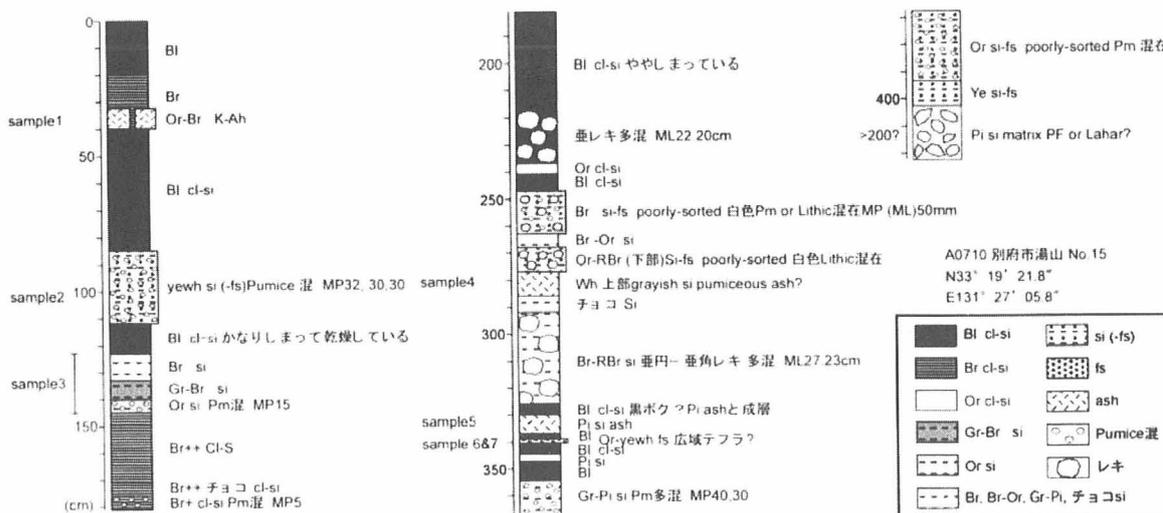


図3 別府市湯山西方の道路沿いの露頭の柱状図と試料採取位置

まとめ

別府周辺の第四紀後期火山活動史を明らかにするために、別府地域の地質の概略を紹介し、第四紀後期の火山活動に関する課題をまとめた。また、そのための代表的な火山灰・土壌露頭を紹介するとともに、新たな代表地点として湯山西方の露頭を記載し、3層の火山ガラス質火山灰が挟まれていることを明らかにした。最上位のガラス質火山灰は、その特徴から鬼界-アカホヤ火山灰 (K-Ah火山灰) であると考えられる。

謝辞

湯山の露頭調査の柱状図作成では、熊本大学教育学部の宮縁育夫氏にご協力いただいた。記して、感謝いたします。

引用文献

- Fujii, S., Ishikawa, N., Saito, T., Sugimoto, T. and Takemura, K. (2008): Tentative estimation of the age of Tsurumidake summit lava, Beppu City, by paleomagnetic directions and paleointensities. Annual Report FY 2007 of Institute for Geothermal Sciences, Kyoto University. 6-8.
- 藤沢康弘・奥野 充・中村俊夫・小林哲夫 (2002): 九州北東部, 鶴見火山の最近3万年間の噴火活動. 地質学雑誌, 108, (1), 48-58.
- 星住英夫・小野晃司・三村弘二・野田徹郎 (1988): 「別府地域の地質」5万分の1地質図幅及び説明書, 131頁.
- 星住英夫・鎌田浩毅 (1991): 由布川火砕流の噴出年代. 火山, 36, 393-401.
- 星住英夫・森下祐一 (1993): 「豊岡地域の地質」5万分の1地質図幅及び説明書, 75頁.
- Ishibashi, H., Saito, T., Sugimoto, T. and Takemura, K. (2009): Petrological descriptions on the Tsurumidake summit lava and implications on its pre-eruptive conditions. Annual Report FY 2008 of Institute for Geothermal Sciences, Kyoto University. 6-10.
- 森山善蔵 (1972): 別府地方の地質図と岩石について. 大分県温泉調査研究会報告, 23, 43-49.
- Saito, T., Sugimoto, T. and Takemura, K. (2008): The latest lava flows at Tsurumi Volcano, East Kyushu, Japan (2). Annual Report FY 2007 of Institute for Geothermal Sciences, Kyoto University. 9-10.
- 竹村恵二 (1994): 別府地域の地質. 「別府の自然」別府市自然環境学術調査報告書, 33-53.
- Takemura, K. (1995): Holocene eruptive activity recorded as volcanic glass in the sediments of Beppu Bay, central Kyushu, Japan. Mem. Fac. Kyoto Univ., Ser. Geol. & Mineral., Vol. LVII, (2), 1-10.
- Takemura, K., Saito, T., Sugimoto, T. and Mawatari, H. (2007): Some problems with the latest lava flows at Tsurumi Volcano, East Kyushu, Japan. Annual Report FY 2006 of Institute for Geothermal Sciences, Kyoto University. 10-11.
- Takemura, K., Saito, T., Yamamoto, J. and Mawatari, H. (2006): Environmental change and tephra horizons on the basis of color data on Late Quaternary loam sediments. Annual Report FY 2005 of Institute for Geothermal Sciences, Kyoto University. 11-12.
- Takemura, K., Yamamoto, J. and Mawatari, H. (2005): Late Quaternary tephrochronology in eastern part of central Kyushu recorded in the soil-loam sequence. Annual Report FY 2004 of Institute for Geothermal Sciences, Kyoto University. 11-12.

環境同位体をトレーサーとした別府温泉南部域を 流動する温泉水の滞留時間の推定

京都大学大学院理学研究科附属地球熱学研究施設

三島 壮智・大沢 信二
山田 誠

岡山理科大学理学部基礎理学科

北岡 豪一

要 旨

涵養域が特定されている別府温泉南部域の地下を流動する温泉水（大沢・他，2009）が京都大学地球熱学研究施設構内の掘削された温泉実験井から揚水されるまでに掛かる時間（地中における滞留時間）を、温泉水に含まれる環境放射性同位体のひとつであるトリチウム（ ^3H ）を使って推定する方法を構築した。その方法によって得た結果に基づいて、温泉水が涵養域（高地部）から流動域末端（海岸付近）まで流動するのに要する時間を見積もったところ、浅層のCa, Mg-HCO₃型温泉水は約50年、比較的深層を流動するNa-Cl型温泉水とNa-HCO₃型温泉水は20年ないし40年程度と求まった。

はじめに

近年、決して無尽蔵ではない温泉資源を後世にどう残していくかなど、以前にも増して温泉資源の保護に対する意識が高まってきており、今後、温泉資源の保全を考えていく場合、『温泉水が、どこから、どれくらいの時間をかけて流れてきているか』という問いに答えることは非常に重要であると考えられ、こうした基本的な情報を入手しておくことが必須になっていくのではないかと考えられる。しかし、この単純な問いに答えるための日常化された方法は無く、未だに研究レベルで取り扱われているというのが現状である。そこで、私たちは、汎用性のある方法の構築を目指し、提案する方法の検証を温泉水系が比較的良く分かっている別府温泉南部域で行い、昨年度は温泉水の涵養域の特定、即ち「温泉水がどこから流れてきているか」についての情報を入手する方法を提示した（大沢・他，2009）。

本年度は、昨年度の報告（大沢・他，2009）で予告したように、自然環境中に存在する放射性同位体のひとつであるトリチウム（ ^3H ）を用い、温泉水の涵養から流出までの地下における滞留時間の推定、つまり「温泉水がどれくらいの時間をかけて流れてきているか」についての情報を得る方法を提案する。また、その方法が示す滞留時間を使って、別府温泉南部域の地下を流動する温泉水が、涵養域から流動経路末端（海岸付近）まで、どのくらいの時間をかけて流動してきているかを見積もったので、合わせて報告する。

2. 温泉水のトリチウム（ ^3H ）データ

研究に用いた ^3H 濃度データは、別府温泉南部域の温泉水の涵養域の特定に利用した京都大学地球熱学研究施設構内の温泉実験井（由佐・他，1994）から流出する温泉水のものであり、掘削後間もなく北岡が分析して得たデータである。温泉実験井の位置を別府温泉南部域の温泉水系図（熱水流動経路図）の中に表したものを図1に（大沢・他，2009の図9を修飾）、また、 ^3H の分析値を、孔明管の位置、水温、塩化物イオン（Cl⁻）濃度、炭酸水素イオンと塩化物イオンの濃度比（HCO₃/Cl）、アルカリ土類元素イオンとナトリウムイオンの濃度比（(Ca+Mg)/Na）、水の安定同位体データ（ δD , $\delta^{18}\text{O}$ ）ならびに水質区分とともに表1（大沢・他，2009の表1を修飾）に示す。なお、ここで、1本の温泉井から深

さ300mまでほぼ50mおきに6つの試料水が得られているのは、深度別の水を採取するために50m毎に径を細くしながら300mまで掘削するという特異な工法が取られたためである。

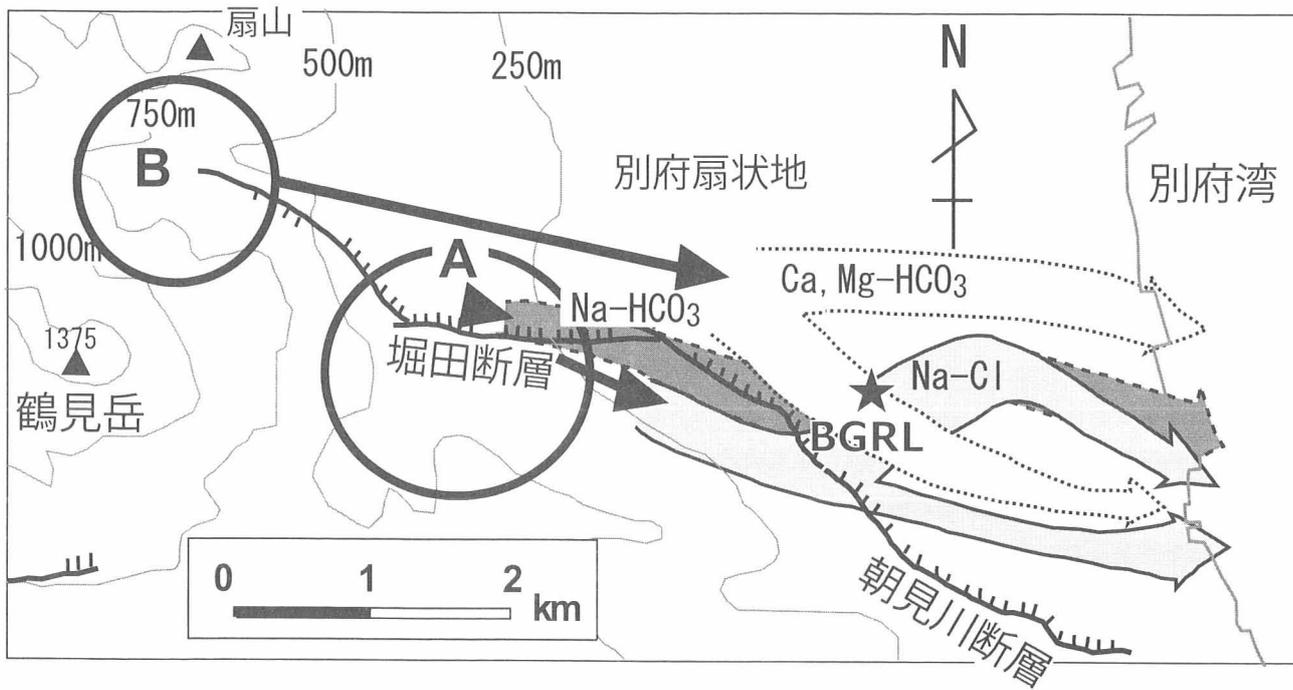


図1 別府南部域の地下の温泉水の涵養域と流動経路および京都大学温泉実験井の位置 (BGRL★)
(原図は大沢・他, 2009)

表1 京都大学地球熱学研究施設温泉実験井の温泉水データ(トリチウム(³H)の濃度単位TU(トリチウム・ユニット)はトリチウムと質量数1の水素の割合 (³H/¹H) 1/10¹⁸を1として表したもの)

試料番号	孔明間の位置 (m)	水温 (°C)	Cl ⁻ (mg/L)	HCO ₃ /Cl	(Ca+Mg)/Na	δD (‰)	δ ¹⁸ O (‰)	³ H (TU)	泉質
Dp50	39-50	20.9	17.5	7.3	0.96	-50.2	-7.82	8.7	[冷地下水]
Dp100	89-100	42.0	36.9	15.4	1.42	-54.8	-8.73	6.4	} Ca, Mg-HCO ₃
Dp150	139-150	54.4	42.1	12.7	0.88	-56.1	-8.88	1.6	
Dp200	189-200	125.6	65.7	10.9	0.74	-55.5	-8.78	0.6	
Dp250	228-250	147.9	282	1.4	0.02	-51.9	-7.18	11.2	Na-Cl
Dp300	278-300	101.8	64.6	7.5	0.05	-53.1	-8.17	12.0	Na-HCO ₃

図2に、京都大学地球熱学研究施設付近の地下を階層構造を成して側方流動する温泉水の³H濃度の深度分布を示す(50m深度は普通の地下水)。一般的な火山体内の地下水流動系では、深部を流動する地下水ほど地層中での通過時間が長くなるため、³H濃度は低くなる傾向があつてよいはずであり、深さ50mから200mの間では(以後、深度をDpで表記し、例えば、深さ50mはDp50と表す)、深さとともに³H濃度は単調に減少しており、おおむね期待通りの結果となっている。しかし、250m以深では表層を流動している地下水(Dp50)の様に高い³H濃度を示しており、Dp250とDp300の温泉水の形成には浅層の地下水が関わっている可能性もあることを示唆している。また、以上の特徴を表1に表した泉質

に照らし合わせると、正常な深度- ^3H 濃度関係を示す温泉水はCa, Mg- HCO_3 型に、異常に高い ^3H 濃度を示す温泉水はNa-Cl型ないしNa- HCO_3 型に対比されることが分かった。

3. トリチウム (^3H) を用いた滞留時間の推定方法

^3H は半減期12.33年の水素の放射性同位体であり、天然では成層圏で宇宙線と窒素原子核との衝突破砕反応によって生成され、水分子を構成して(^3HHO)降水とともに降下してきている。自然状態での降水の ^3H 濃度は約4TU程度であり、1950年代から1960年代に行われた水爆実験によって大量の人工 ^3H が大気に注入されて降水のそれは1000TU近くまで高められたが、現在ではほぼ自然レベルまで回復してきている(図3)。降水の一部となって地中に浸透した ^3H は、水分子として挙動するため地層との化学反応による ^3H 濃度の変化は無く、また、通常、地中では新たな ^3H の生成が無いことから、一旦地下に入った ^3H はその半減期に従っ

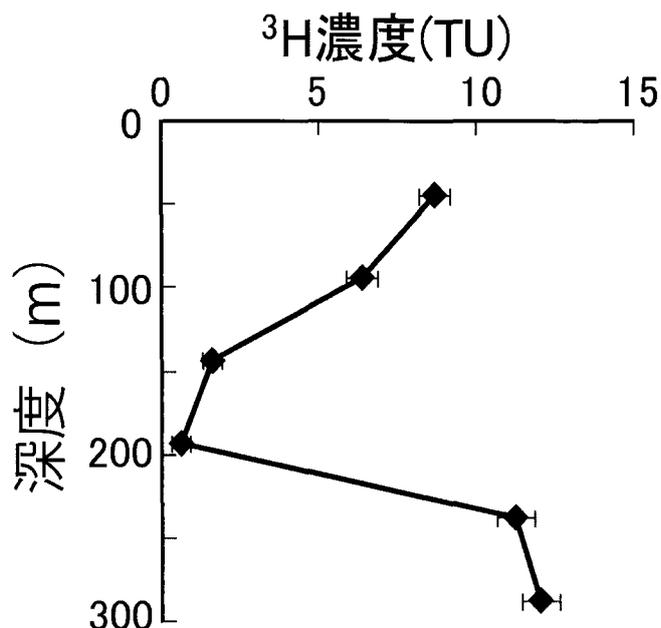


図2 京都大学地球熱学研究施設内温泉実験井から得られた温泉水の深度別 ^3H 濃度(ただし、50m深度は通常の地下水)

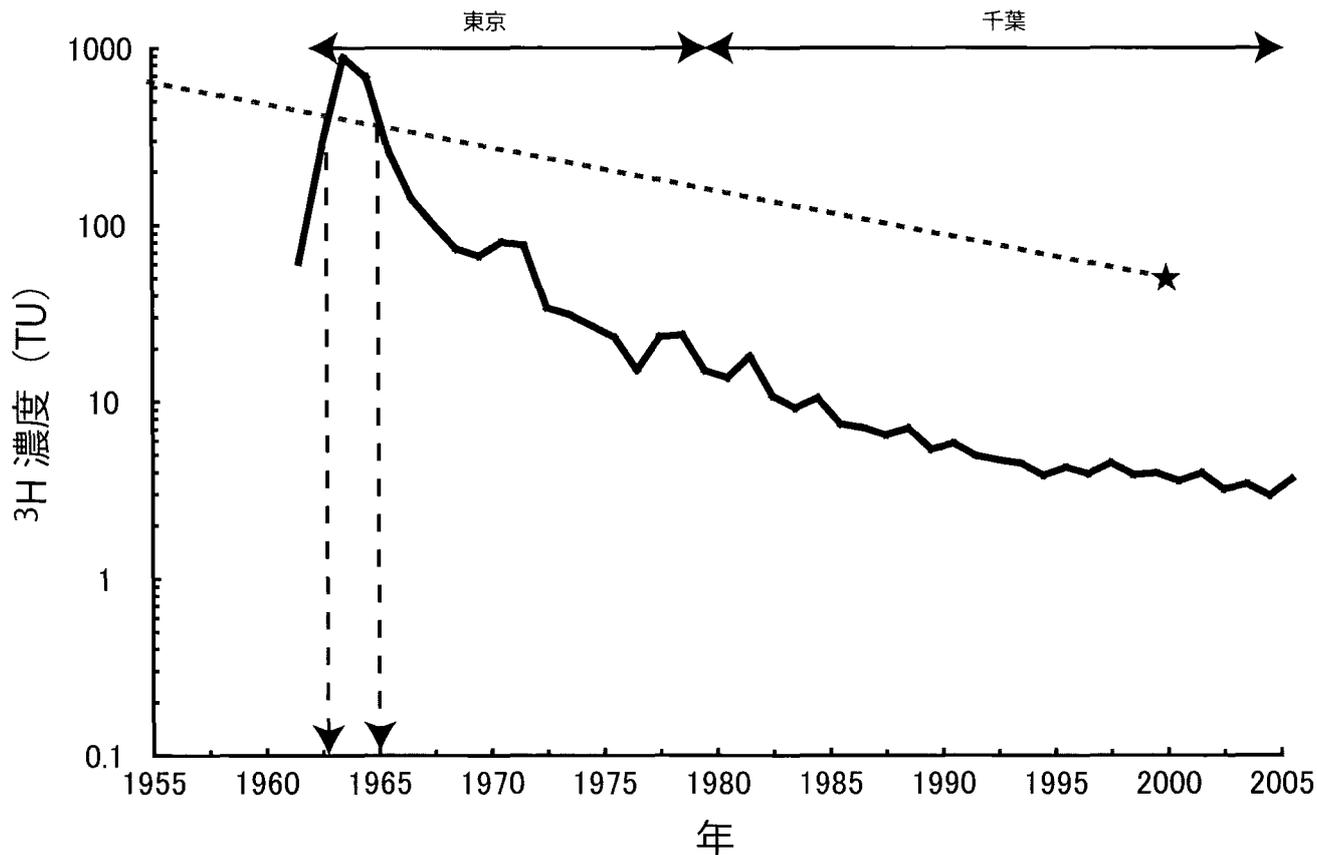


図3 日本における降水の ^3H 年加重平均濃度の時間変化。1961年~1979年はIAEAのデータ(東京)、1980~1990年は放射線医学総合研究所のデータ(千葉)。★印は例として2000年に50TUであった場合を表示している。

て時間とともに濃度を指数関数的に低下させていく（図4）。このことはすなわち、あるエリアで同じ時期に涵養された地下水では地中での滞留時間が長いほど、そこに含まれる³Hは少なくなることを示し、このことを利用して雨が地下に浸透した後、湧出や揚水によって地上に現れるまでの時間（地下水の滞留時間）の推定が行える。

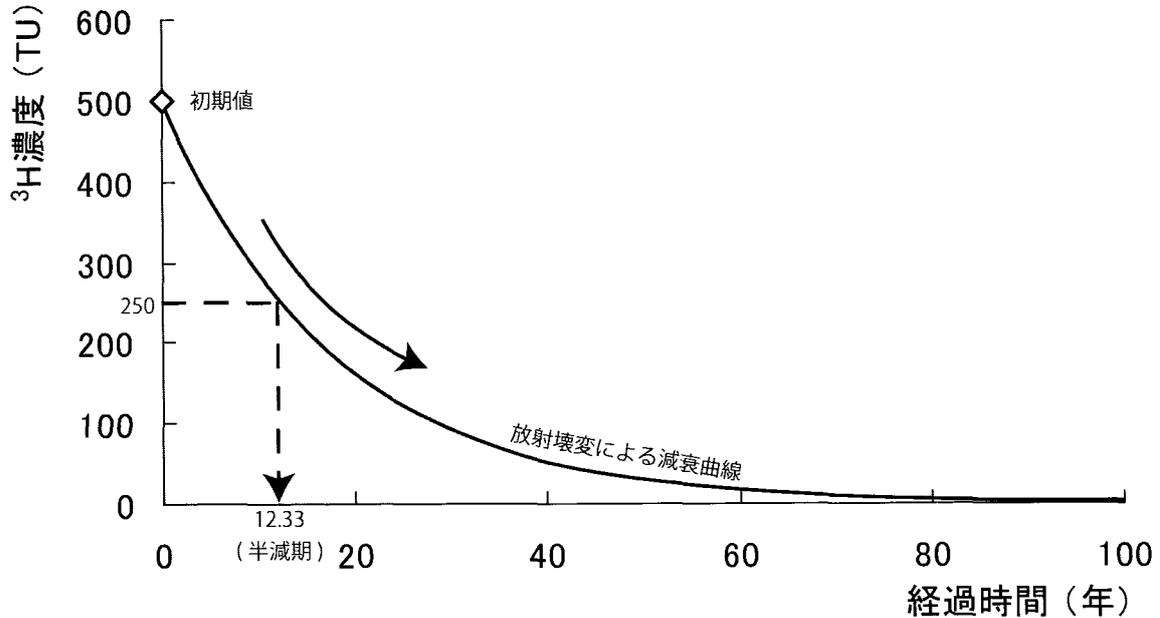


図4 時間ともなうトリチウム濃度の減衰を説明する図

³Hを用いた地下水の滞留時間の解析では、多くの場合、完全混合モデル（Kitaoka, 1988）を仮定して行われているが、このモデルは湧水などのように地下水の流線が流出点に集中するケースを想定したものであり（図5(a)、今回の温泉実験井から得られる地層中を流動している途中の温泉水には適用できないと考える。別府温泉南部域では、温泉水は階層構造を成して流動していることが明らかにされており（大沢・他, 1994）、地層中を流れている途中で水の混合を考慮する必要がないと考えられるので、今回の解析にはピストン流モデル（例えば、Clark and Fritz, 1997）を採用することにした。ピス

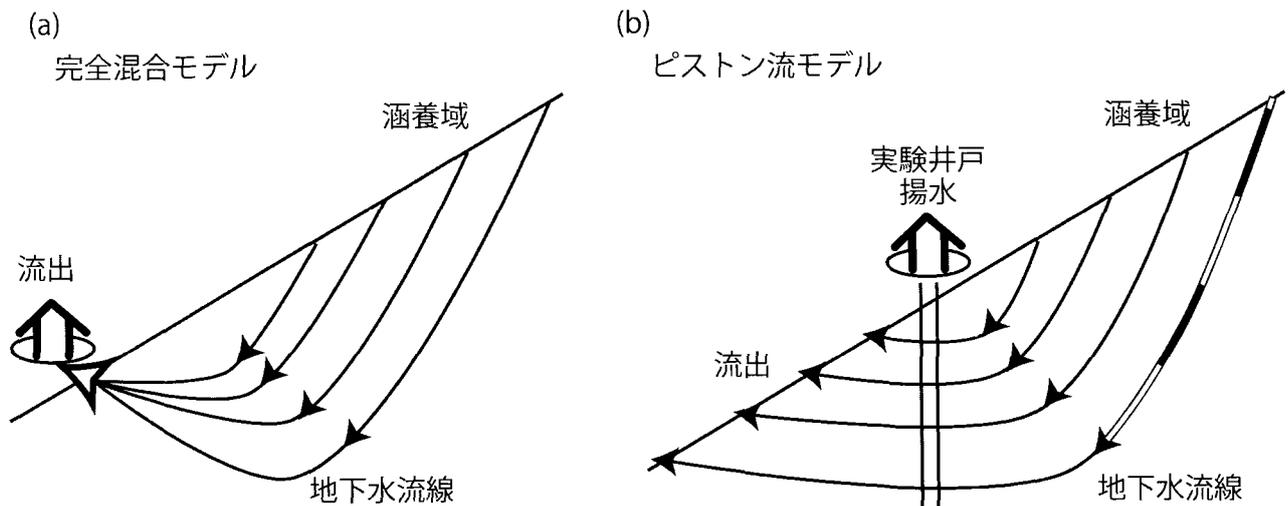


図5 (a) 完全混合モデルと (b) ピストン流モデルの概念図

トン流モデルとは、図5 (b)に模式的に表したように、涵養された地下水がトコロテン式に順送りされ、地層中を上下前後に混合すること無しに流動するというタイプの地下水流動を想定したモデルである。

ピストン流モデルに基づいた解析では、降水が地中に浸透した後に地下水として流動している間、含まれる³Hの濃度は半減期に従って単純に減衰するのみとして取り扱えるため、図3に示した降水の³H濃度の年変化の図を使って、採取した地下水の³H濃度値からその涵養時期を決めることができる。図3を用いて、その具体的な方法を説明すると次のようになる。採取時の地下水中の³H濃度（図3の★印）が過去にさかのぼるとどのくらいの値であったかは、現在の³H濃度であるT (TU)、過去の³H濃度のT₀ (TU)、地中に浸透してから採水されるまでの時間y (年) を使った $T=T_0 \cdot (1/2)^{(y/12.33)}$ という計算式を用いて簡単に求めることができ、図3の★印から過去の方に伸びる破線で表される（以後、このような線を減衰線と呼ぶ）。地下水中の³Hは降水起源であるので、この減衰線と降水の³H濃度の年変化曲線（図3の実線）が交わる点の年が、降水が地下に浸透して地下水となった時期と求まる。交点が1つだけであれば、涵養年代は定まるが、ここで例として出したように交点が複数でてくるものは、候補となる値が求まるにすぎず、³H分析の精度や³H以外の情報と合わせて尤もらしい地下水涵養年代を決める必要がある。なお、分析精度等を加味して見積もったピストン流モデルによる解析で求まる滞留時間の精度は±5年程度である。

さて、先述の降水の³H濃度の年変化曲線は解析の要のひとつであるため、それがどのようにして得られたかを以下に詳述しておくことにする。降水中の³H濃度には季節変動が見られるのが普通であり、降水の³H濃度の変化曲線は実際にはもっとゆらいだものであるが、一般的に地下へ浸透した降水の同位体濃度は年単位で平均化されるとされているため、解析に用いる降水の³H濃度の変化は年単位で見ただけで十分と判断し、降水の³H濃度としては降水量を考慮した年加重平均値を用いた。1985年以降の³H濃度については東京と千葉の降水の³H濃度データ（東京はIEIA、千葉はNIRS）を用い、1984年以前の³H濃度についてはオタワの降水の³H濃度データ（IAEA）とニューヨーク降水の³H濃度データ

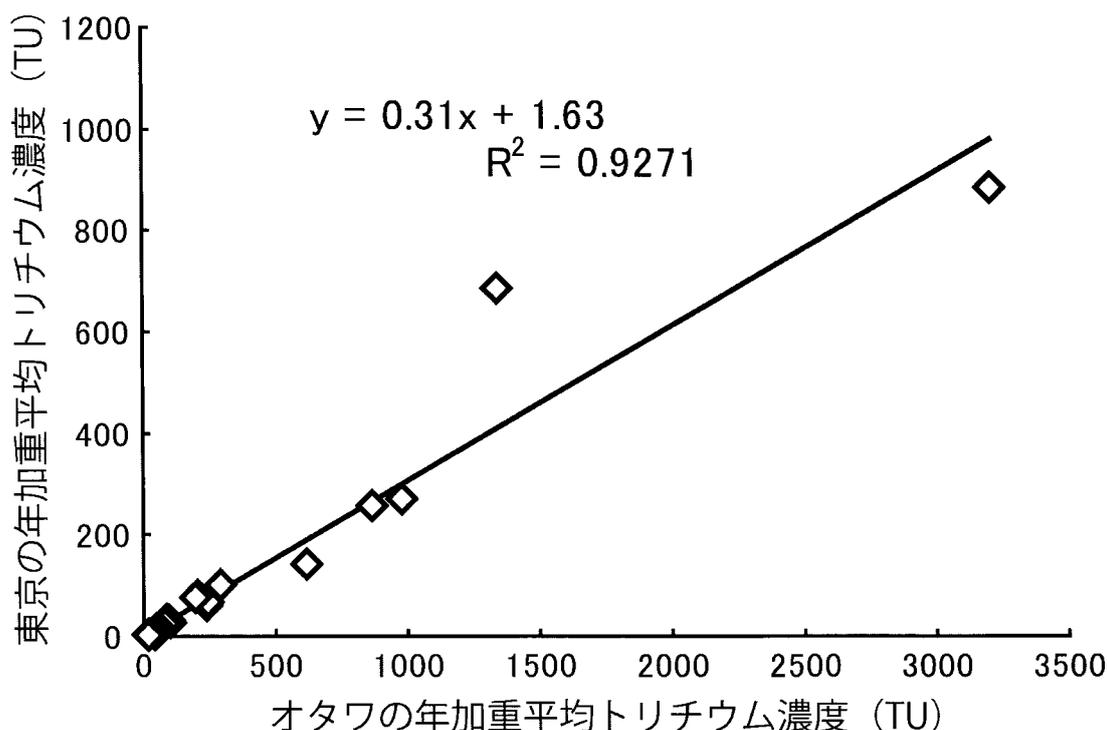


図6 オタワとニューヨークの降水³H濃度から日本の³H濃度を推定するための変換式の導出。
変換式は $y = 0.31 x + 1.63$ で、この時の y を日本の³H濃度、x をオタワとニューヨークの³H濃度で示している。

(KAUFMAN and LIBBY, 1954) から推測した日本の³H濃度を用いた。推測に用いる変換式は、オタワの降水の年加重平均³H濃度と日本の年加重平均³H濃度の関係 (図6) から導出しており、yを日本の³H濃度とし、xをオタワの濃度で表すと、 $y = 0.31 x + 1.63$ と表される。ニューヨークについては、オタワから300km程度のフィンガーレイク付近のナポリの降水の³H濃度データであることから、同様の式を用いて変換を行った。

4. 結果と考察

前章に示した方法で、温泉実験井から深度別に揚水された水 (Dp100~Dp300の5つの温泉水と、Dp50の地下水) の滞留時間を見積もった。前章で予想したように、降水の³H濃度の変化曲線と減衰線の交点が複数存在する、すなわち滞留時間について複数の解を与えるものがある (図7)。その中には、滞留時間の推定精度±5年程度を考慮し、10年の幅にあるものをまとめてもなお複数解を認めざるを得ないものがあるので、揚湯試験によって求められた透水係数 (由佐・他, 1994) との関係 (図8のa) や、涵養域 (大沢・他2009) から実験井の位置までの距離との関係 (図8のb) を検討することで、妥当だと考えられる値に絞り込んでいくことにした。

まず議論の必要のないものについて先に述べ、続いてそうでないものについて考察を加え、得られた尤もらしい値を提示する。Dp150 (▲) は、図7に表されるように交点が1つしかないため滞留時間は35年 (±5年) と確定し、Dp200 (●) についても、交点は複数存在するが、精度を考慮して1つに括り、38~41年 (±5年) と確定できる。

精度を考慮しても2つの解が得られるDp100 (■) は、涵養域からの距離がDp150と数百mしか変わらず、透水係数もDp150とあまり変わらないため、Dp150の滞留時間に近い32~34年 (±5年) が確か

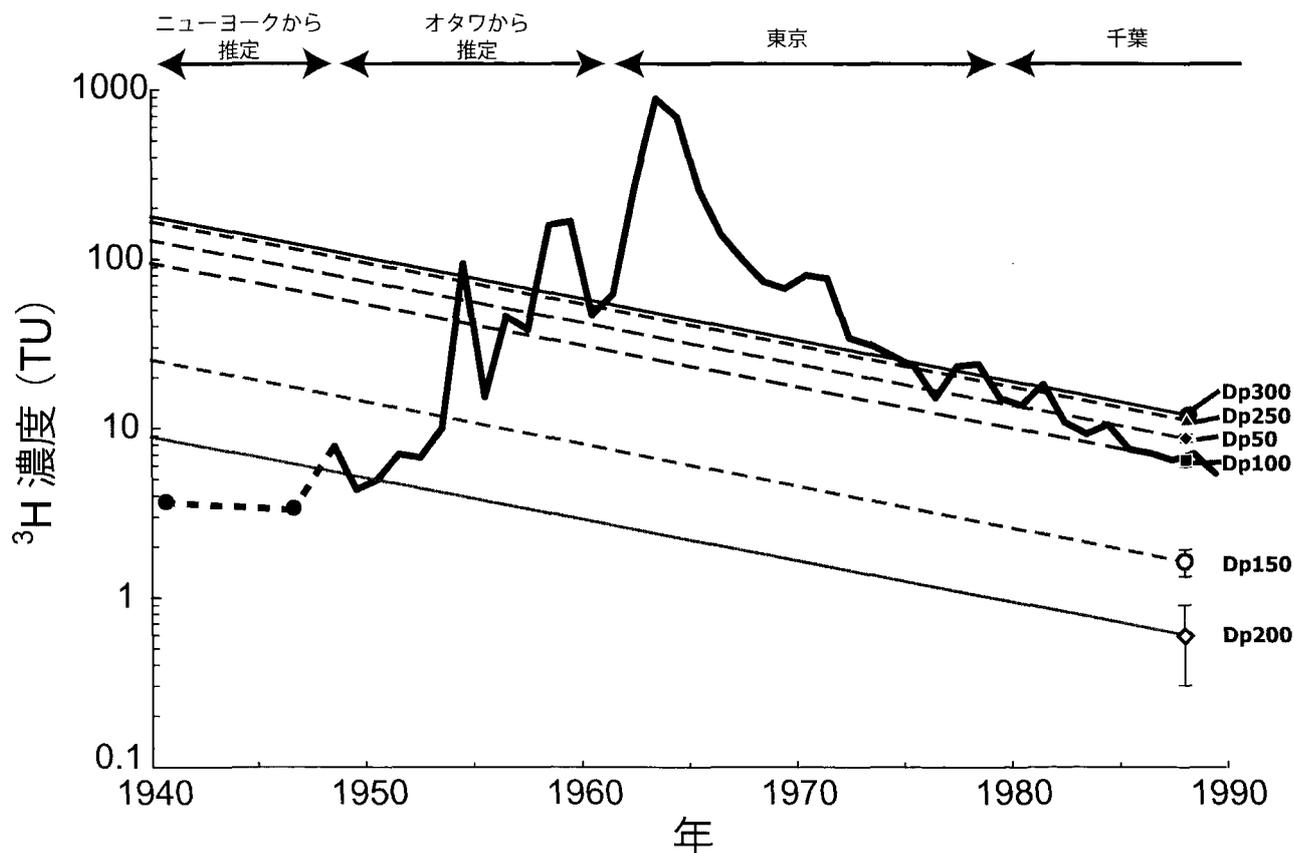


図7 ピストン流モデル解析による温泉実験井の各深度の水の平均滞留時間の推定。黒の太線は日本の降水の³H年加重平均濃度の変化曲線。

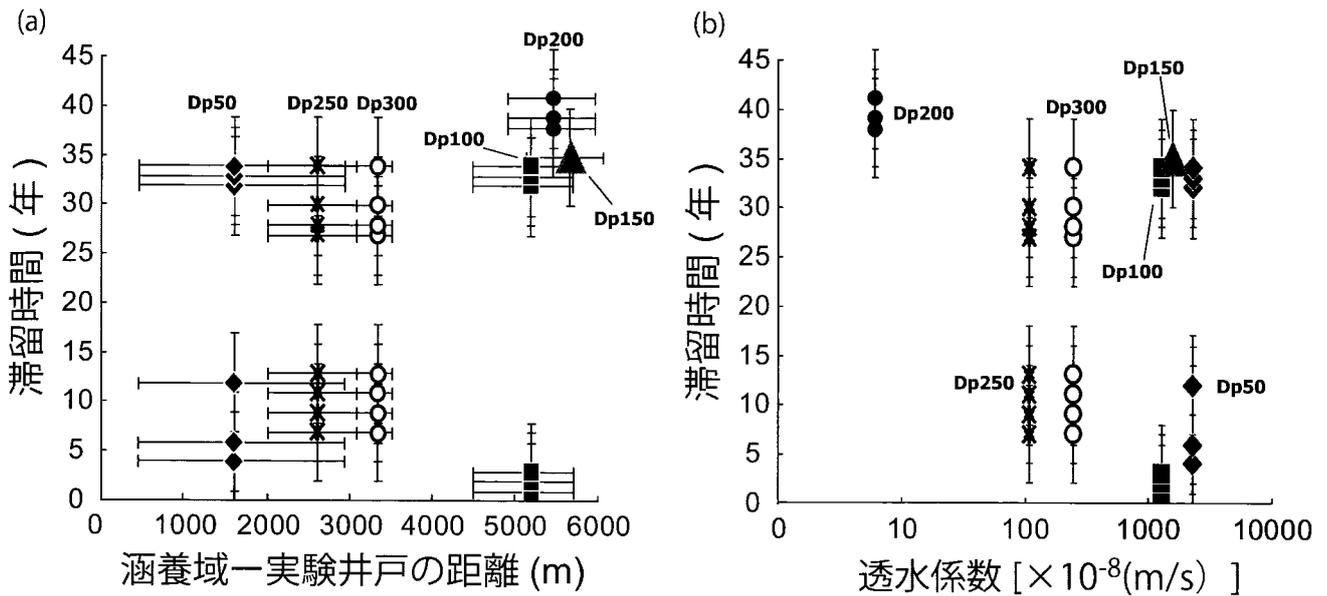


図8 a：滞留時間の解と涵養域から実験井までの距離との関係， b：滞留時間の解と透水係数の関係

らしいと考える。Dp50 (◆) は、涵養域からの距離が、Dp150の1/5程度であり、透水係数がDp50と同じであるので、滞留時間は単純に1/5程度であると考え、短い滞留時間解を採用し、4～12年(±5年)とした。Dp250 (*) とDp300 (○) については透水性がやや悪く、涵養域付近の断層地帯においても同じ状況にあるとすれば、7～13年(±5年)の短い滞留時間の方でなく、27～34年(±5年)が妥当であると考え。しかし、断層地帯が思った以上に透水性が良かった場合には、涵養域付近では速い流動を行っている可能性があり、短い方の滞留時間(7～13年)が妥当であるかもしれない。しかし、このあたりを確かめるためには堀田断層や朝見川断層の透水性に関する情報を、直近の温泉井の揚水試験の結果などから入手する必要があるとあり、その収集とそれによる再考察は今後の研究課題としたい。

以上の解析と考察によって推定された、京大研究施設付近の地下を階層構造を成して流動する温泉水と、その上部を流動する地下水の涵養から揚水までの滞留時間を表2にまとめた。Dp250とDp300については、上述のように、現段階では求めた滞留時間をひとつに絞り込めなかったため、候補となる推定時間を併記した。

さて、京都大学地球熱学研究施設付近の地下を流動する温泉水はさらに流動を続け、海岸付近にまで至っているとされている(大沢・他, 1994; 大沢・他, 2009; 図1参照)。そこで、京大付近から別府湾沿岸部までの間の温泉水の流動経路も上流側と同様の水理地質状態にあると仮定し、温泉水が涵養されてから別府湾沿岸部まで流動してくるまでどれくらいの時間を要するかを推測した。その結果は、図9(の流動経路の末端部)に表すように、Ca, Mg-HCO₃

表2 京都大学地球熱学研究施設付近の地下を階層構造を成して流動する温泉水(Dp100～Dp300)、地下水(Dp50)の涵養から揚水までの地下における滞留時間

試料番号	滞留時間 (±5年)
Dp 50	4～12
Dp 100	32～34
Dp 150	35
Dp 200	38～41
Dp 250	7～13 ないし 27～34
Dp 300	7～13 ないし 27～34

型温泉水(京大付近では深さ100m～200mを流動)については約50年、Na-Cl型温泉水(京大付近では250m深度を流動)とNa-HCO₃型温泉水(京大付近では300m深度を流動)は、約20～40年程度であっ

た。Ca, Mg-HCO₃型温泉水については別府温泉南部域に分布する多数の温泉の³Hデータ解析から求められた比較的浅層に存在する温泉水の平均的な滞留時間（50年程度；Kitaoka, 1990）に一致し、その推定値が妥当なものであることを示していると考えられる。Na-Cl型温泉水とNa-HCO₃型温泉水の流動に要する時間には、滞留時間の解をひとつに絞り込めなかったために20年ほどの幅を持たせてあるが、今回初めて提示されたものである。滞留時間の再考察の結果次第で、約40年というCa, Mg-HCO₃型温泉水と同程度の流動時間となるか、約20年という短い流動時間となるかが決するが、いずれにせよ温泉水の流動には最低でも人が成人するまでに要する程度の時間がかかっているということを認識することができよう。

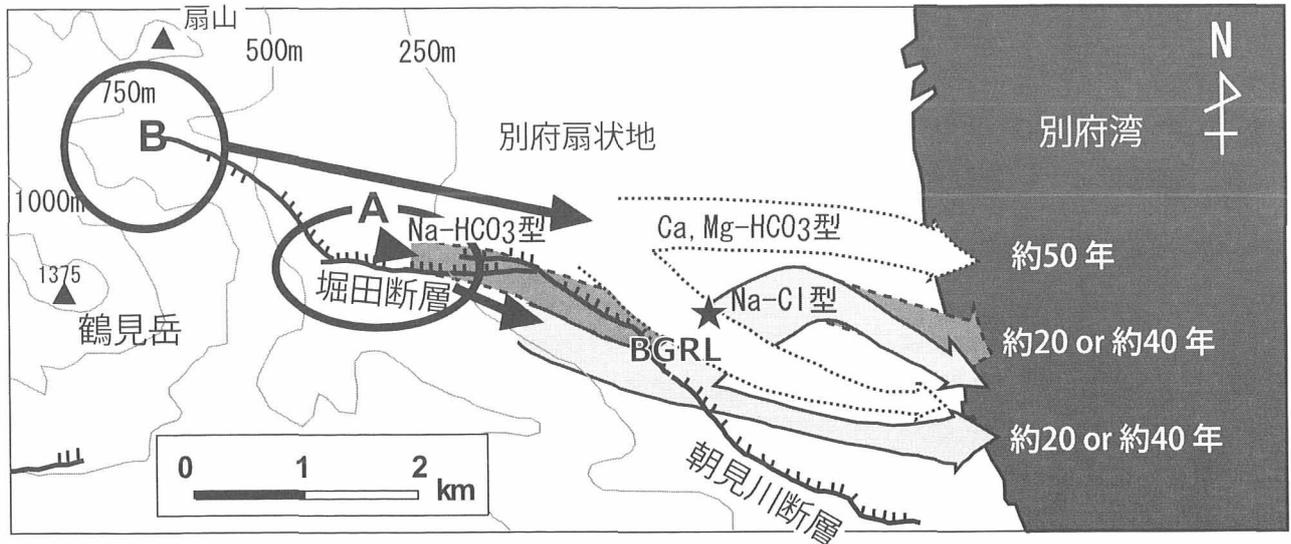


図9 別府南部域の地下を流動する温泉水が涵養域から最下流域（海岸付近）までに至る時間

6. おわりに

前年度報告の研究（大沢・他，2009）と本研究によって、「温泉水が、どこから、どれくらいの時間をかけて流れてきているか」という問いに具体的に答えるため、水の水素安定同位体比（ δD ）を用いて涵養域を推定し、トリチウム（³H）を使って涵養から流出までの地下における滞留時間を見積もるという方法を提案することができた。しかし、今後この方法を他の温泉地において試用し、その有用性や限界を見極め、汎用性の有無を検証して行く必要があると考える。

手法の提案ということの他に、別府温泉南部域では『別府扇状地の扇頂部辺り（高地部）で地下に浸透した雨水が、熱と成分を獲得して温泉水となり、数十年の時間をかけて扇端部付近（旧別府市街地）まで流動してきている。』というこれまでの予想を支持する結果を与えることができた。また、昨年度の報告（大沢・他，2009）で述べた断層系における熱水流体流動の研究の必要性の提言に対して、その有意性を本研究（滞留時間に関する研究）の方からも示すことができたと考える。

謝辞

京都大学地球熱学研究施設内温泉実験井の掘削を計画し、掘削時採水などを行われた由佐悠紀京都大学名誉教授、竹村恵二京都大学教授らに敬意を表します。

引用文献

Ian Clark and Peter Fritz (1997) Environmental Isotopes in Hydrogeology, CHAPTER 7 : IDENTIFYING AND DATING MODERN GROUNDWATERS, CRC Press LLC, 181-182.

- KAUFMAN, S and LIBBY, W. F. (1954) The Natural Distribution of Tritium, *Physical Review*, 6, 1337-1344.
- Kitaoka, K. (1988) A Model of Quality Distribution in Groundwater With Reference to Natural Tritium Concentration, *地下水学会誌*, 30, 77-93.
- Kitaoka, K. (1990) Water circulation rates in a geothermal field : A case study of tritium in the Beppu hydrothermal system, Japan. *Geothermics*, 19, 515-539.
- 北岡豪一 (1983) トリチウムによる浅層地下水の滞留時間の推定. *水温の研究*, 26, 25-34.
- 大沢信二, 由佐悠紀, 北岡豪一 (1994) 別府温泉南部地域における温泉水の流動経路. *温泉科学*, 44, 199-208.
- 大沢信二, 山田誠, 三島壮智, 北岡豪一 (2009) 天然同位体をトレーサーとした別府南部地域の温泉涵養域の推定 - 京都大学温泉実験井の同位体データの利活用 -, *大分県温泉調査研究報告*, 60, 7-18.
- 由佐悠紀, 北岡豪一, 神山孝吉, 竹村恵二 (1994) 掘削による地下温泉水の層構造の検出 - 別府温泉南部地域での試み -. *温泉科学*, 44, 39-44.

温泉の医学的利用に関する検討 (X)

－温泉調査研究会報告の総括－

臼杵市医師会立コスモス病院
安田正之

はじめに

安田正之は、1995年より大分県温泉調査研究会報告書に温泉の医学的利用に関して報告してきた。この間に取り組んだ課題は、

- # 1 : 炎症性疾患すなわち腫れ・痛み・発熱を主兆とする関節リウマチ (RA) 炎症への軽減効果
- # 2 : RA炎症を形成する免疫異常の検索とリハビリテーション訓練・温泉浴によるその変化
- # 3 : リハビリテーションの手段としての温泉浴の利用に関する現状の評価と改善の方向性である。以下にその総括を記す。

1. 炎症性疾患すなわち腫れ・痛み・発熱を主兆とする関節リウマチ (RA) 炎症への軽減効果の確認：①②

○関節リウマチ患者の精神的状態

温泉治療の効用のひとつに、入浴後の気分的な改善があることは良く知られている。これらを客観的な尺度をもって検討することは容易ではないが、QOL評価法をとりいれて検討した。

QOL評価表は平成3年度厚生省リウマチ調査研究事業研究報告書に準じた (表2)。患者にアンケート用紙を手渡し、項目1-22までの質問に回答を受けた。項目1-20までの質問は4段階にその答を用意した。1が最もQOLへの障害が少なく、4が最も重大となるよう配列した。また、項目21の病気の受容状態は4段階、項目22の幸福感は6段階とした (1:非常に幸せ、2:結構幸せ、3:まあまあ幸せ、4:やや不幸、5:かなり不幸、6:全く不幸)。

42名の入院中のRA患者より回答を得た。男性6名と女性36名よりなり、平均年齢 60.2 ± 8.5才、平均罹病期間 5.6 ± 1.2年、入院患者27名、外来通院15名であった。患者は、一人で運動浴・温泉浴を水治療として行える患者が対象となった。

表1 リハビリテーション・温泉浴前後の血中サイトカイン値

		RA1(AI)		RA2(KM)		RA3(AT)		Cont(AE)	
		前	後	前	後	前	後	前	後
IL-6	pg/ml	51.5	24.2	47.2	33.4	3.5	3.2	3.7	4.5
TNF-α	pg/ml	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
IL-1β	pg/ml	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Cortisole	μg/dl	4.4	4.5	11.2	12.1	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.

n.d. not determined

○温泉浴によるQOLスコアの変化

QOL項目への障害の程度が1あるいは2と軽度であると答えた割合を表3で示す。患者は概して疼痛への治療効果を楽しんでおり、日常動作は比較的保たれていた (No 1-5)。また、周囲の理解は良く (No 13)、近所付き合いには約80%の患者は影響されていないと答えている (No 16, No 17)。一方

では外出が思うに任せず (No 17) 仕事への障害は大きい (No 18) と答えている。また、病気や将来への不安 (No 12, No 15)、家族への負担への心配 (No 11) といった精神面の負担を感じる割合が高いことが示されている。運動浴あるいは温泉浴の後にそれぞれが10%程度 (7%以上) 上昇した項目は、網をかけて示したが、No 6, 7, 12, 14, 15, 18 であり、No 2, 10, 11 も7.2%の上昇を認めた。悪化した項目は、No 4, 16, 19, 20 (いずれも5%以下) であった。なお、No 21: 受け入れ状況やNo 22: 幸福感は各々2.4%, 4.8%と上昇傾向を認めた。

表2 QOL評価のための項目

I: 日常生活動作

- 1 シャツのいちばん上のボタンをはめる事ができる
- 2 一人で立ったり座ったりする事ができる
- 3 一人で入浴する事ができる
- 4 調理をすることができる
- 5 バスや電車などの交通機関を利用して外出できる

II: 医療

- 6 痛みにより夜間目が覚めることがある
- 7 痛みによりしばしば憂鬱になることがある
- 8 治療を受けているにもかかわらず、痛みなどの症状が改善しない
- 9 リウマチのために支出が増えたか、収入が減った
- 10 リウマチのために家計が苦しくなった

III: 精神面

- 11 家族の重荷になっていると感じることがある
- 12 昼間、家に一人いると不安を感じることがある
- 13 病気について周囲の理解が得られない
- 14 自分のやりたいことが思うようにできない
- 15 自分が将来思うように動けなくなるような不安がある

IV: 社会・文化面

- 16 近所づきあいができない
- 17 外出する機会が減った
- 18 仕事や家事にほとんど影響がない
- 19 趣味が生かせる生活をしている
- 20 旅行に出かけられる状態である

V: 総括質問

- 21: あなたはリウマチという病気をどの程度受け入れるようになりましたか
- 22: あなたは今の生活や人生をどの程度幸せだと感じていますか

○解説

RA患者が有する不安や抑鬱的な漠たる不安感を持つ傾向に対し、表2に見られるように、運動浴・温泉浴は精神面でのプラス効果を示している。入浴や運動が気分の変化を誘ってプラス効果をもたらすことは、一般的に良く知られたことである。特に、疼痛はその良い研究対象とされてきた。興味深いのは、日本大学吉野教授は「落語」を聞くことによる疼痛の軽減効果を発表している。温泉も同様の効果を持っていてなんら不思議はない。大いに活用して行くべきではなかろうか。

2 : 関節リウマチ炎症の背景となる免疫異常の検索とリハビリテーション訓練・温泉浴による炎症の変化 : ③-⑩

○TNF- α 、IL-6、IL-17の変化

関節リウマチは慢性炎症性疾患であり、炎症の成立には数多くの液性因子であるサイトカインが関与するとされている。TNF- α はより上流に位置しており、TNF- α に対するモノクロナル抗体の投与は炎症を劇的に軽減するのみならず、他のサイトカインの血中濃度を低下させることが示されている。

関節リウマチ患者に限らず、人は適度な運動や人との語り、入浴や温泉地療法により爽快な気分を味わえることはよく知られている。吉野らは、関節リウマチ患者に落語を聞かせると、気分を表すface scaleや疼痛の程度を示すvisual scale analogの改善とともに、起炎物質の一つであるIL-6濃度が低下することを報告している。したがって、リハビリテーション・温泉浴による気分の爽快が同様のメカニズムに基づく可能性を考え、リハビリテーション・温泉浴の前後の炎症性サイトカインの変化を検討した。

○方法

午前9時30分に前採血し、リハビリテーション・温泉浴へ行き、PT/OT訓練に続いて運動浴や温泉浴を行い、10時30分から11時までの間に帰棟すると同時に後採血した。血清を分離し、-30℃に保存し、10-20日後にSRLに依頼して各種サイトカインを測定した。

次に、IL-6には日内変動が存在し、正常人においては、朝高く、夕に最も低くなることが示されている。したがって、リハビリテーション・温泉浴が行われなためにベッド上安静にする日のIL-6濃度と比較した。日曜日の午前9時30分および10時30分に採血し、翌月曜日に前報告に準じて午前9時30分前に採血し、リハビリテーション・温泉浴へ行き、PT/OT訓練に続いて運動浴や温泉浴を行い、10時30分から11時までの間に帰棟すると同時に後採血した。測定したサイトカインはTNF- α 、IL-6、IL-17である。

○結果

表1に示すように、活動性関節リウマチ患者(RA1, RA2)の血中IL-6濃度は、前採血で正常値(4.0pg/ml以下)を上回っているが、後採血では、その低下を認めている(図1)。さらに、IL-6濃度と強い関連性を有するとされる血中コーチゾールレベル(正常値4.0-18.3mg/dl)はRA1、RA2では変化していなかった。なお、完全寛解にあるRA3では、IL-6の上昇は認めなかった。

日内変動の検討は、図1に示すように3人の活動性関節リウマチを対象とした。関節リウマチ患者の血中IL-6濃度は正常値(4.0pg/ml以下)を上回っている。日曜日には、わずかな低下傾向を示すが、月曜日のリハビリテーション訓練・温泉浴後には前報告同様に高値を示していたIL-6濃度が半減した。したがって、上記の変動は日内変動では

なく、リハビリテーション訓練と温泉浴による効果であるといえる。また、TNF- α 値の変化を検討したが、気分の変化にかかわらずTNF- α 値は変化していなかった。さらに、リウマトイド炎症と関連するとして注目されているIL-17も変化していなかった。

表3 QOL評価項目への「変化無し・軽度の変化」が占める割合

項目	前	%	後	項目	前	%	後
1	81.0		85.7	11	47.6		54.8
2	78.6		85.7	12	59.5		69.0
3	78.6		78.6	13	90.5		90.5
4	69.0		64.3	14	61.9		73.8
5	69.0		71.4	15	21.4		33.3
6	59.5		78.6	16	81.0		78.6
7	54.8		69.0	17	26.2		31.0
8	73.8		71.4	18	23.8		38.1
9	69.0		69.0	19	42.9		38.1
10	71.4		78.6	20	50.0		45.2
21	85.7		88.1				
22	76.2		81.0				

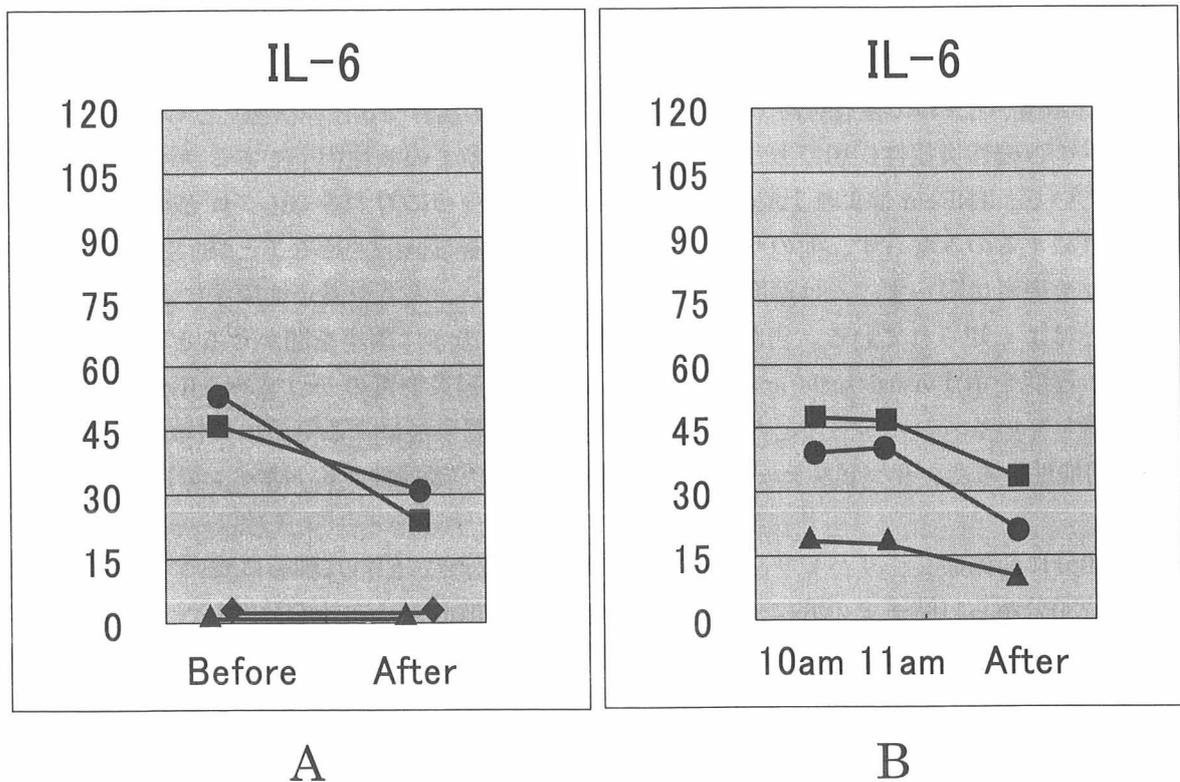


図1：リハビリテーション訓練と温泉浴によるIL-6の変動

○解説

IL-6は、炎症性疾患以外ではマラソンのような強度の運動で上昇し、筋の挫滅を反映するとされている。また、鬱病や精神分裂病では高値であるとされている。吉野らは、neuro-endocrino-immune systemの相互作用と説明しているが、関節リウマチによく見られる「朝のこわばり」と精神疾患における無動や全身の筋緊張と類似したメカニズムにより発生する可能性を示唆しており、大変興味深い。

また、軽い運動や入浴が筋肉の強張りを緩和し、気分の改善に有効であることもよく知られている。我々の示したデータは、「リハビリテーションと温泉で肩も回るようになって気分がすっきりしました」と帰棟した患者におけるIL-6の低下を示している。コーチゾールレベルはIL-6濃度を低下させることが示されているが、IL-6が低下した2人の患者(RA1, RA2)のコーチゾールレベルは変化していないので、IL-6の低下と強い関連性を持っているとは考えがたい。

IL-17とTNF- α ともに高値を示すサンプルを含んでいることから、測定上の問題ではなく、両者共にリウマトイド炎症と直接的な関連を有するのではないように思われた。なお、IL-17は、関節滑膜の肥厚のような病態と関連し、CRPとほぼ同様の緩やかな変化を示したのであろう。

2. 温泉療法導入のタイミング

リハビリテーション訓練と温泉浴に対し、患者は必ずしもよいと評価するわけではなく、ひどくなったと訴える場合もある。したがって、消炎鎮痛剤(NSAID)のみが投与されており、リハビリテーション未開始の入院間もない患者に対し、リハビリテーション訓練と温泉浴を行った。前後でIL-6とIL-6への拮抗作用を有するIL-1raを測定し、その変化を観察した。

○結果

図2に示すように、RA-1, RA-2のIL-6値はリハビリテーション訓練と温泉浴により上昇した。一方、NSAIDとMTXおよびPSL10mg/dayが投与されていてリハビリテーション訓練と温泉浴を開始して2週間を経ていたRA-3では、IL-6濃度は半減した。なお、両群ともにIL-1raは変化しなかった。

次に、リハビリテーション訓練と温泉浴による変化を加療前後で比較した。対象は、4名の活動性関節リウマチ患者であり、そのうち3名は前記患者である（RA-1、RA-2、RA-3）。RA-1、RA-2および新規患者1名（RA-4）は、入院間もなく、NSAIDのみが投与されていたリハビリテーション未施行の患者である。図2左に加療前の変化を示す。RA-1、RA-2のIL-6値はリハビリテーション訓練と温泉浴により上昇している。IL-6の変化とかえってひどくなったとの患者の訴えとから判断して、RA-4では加療前には通常より軽度のリハビリテーション訓練と温泉浴を行った。その結果、RA-4ではIL-6値の低下を認めた。IL-1raには特段の変化を認めていない。図2右にRA-1、RA-2、RA-4の1-2週間の加療後の変化を示す。RA-1とRA-2では加療後にはIL-6値の低下を示した。一方、RA-4では通常のリハビリテーション訓練と温泉浴を行ったところ、IL-6値の大幅な上昇を認めた。

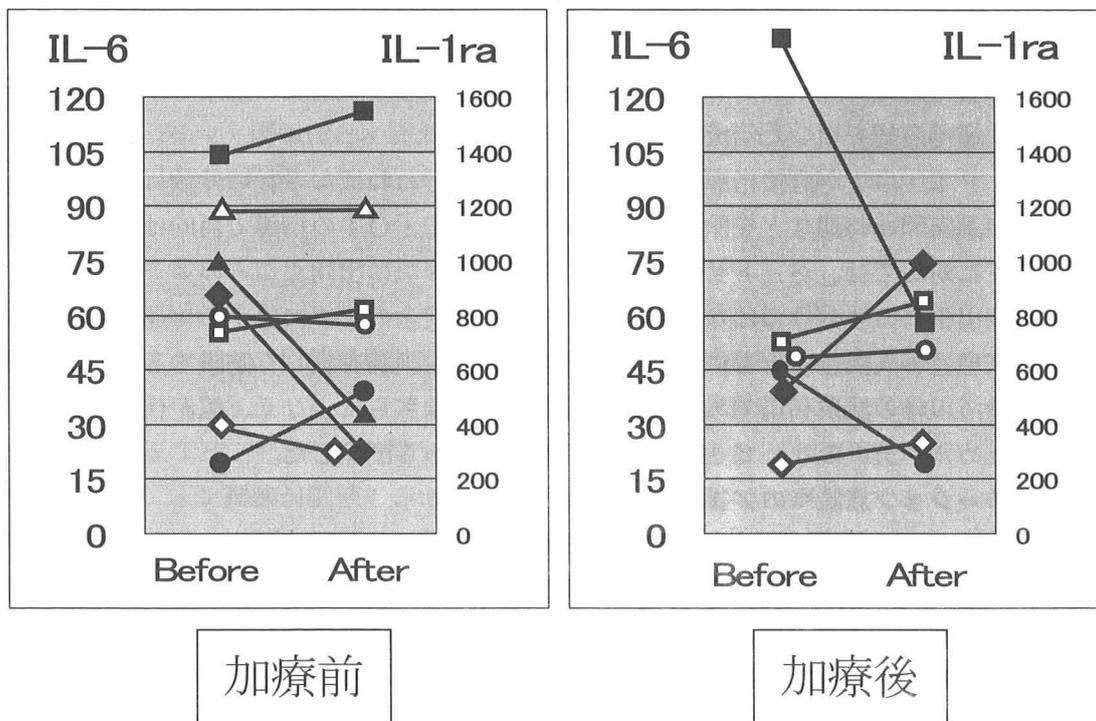


図2：IL-6 /IL-1raの変化に対する加療の影響

●○：RA-1、■□：RA-2、▲△：RA-3、◆◇：RA-4
 ●■▲◆：IL-6 pg/ml
 ○□△◇：IL-1ra pg/ml

○解説

RA-1とRA-2は、いずれもCRP高値であり高い疾患活動性を有しており、起床時の強い強張りを訴えていた。2者はいずれもリハビリテーション訓練と温泉浴後も気分がよくなったとは言わず、むしろ“きつかった”と訴えた。すなわち、強い強張りを有し多関節の疼痛と腫脹を訴える時期にリハビリテーション訓練と温泉浴を行うことは、身体的ストレスとなり、強張りを増強させ、何故このようなつらい運動をせねばならないかとの不満をもたらしたと考えられる。より有効なNSAIDやPSLの投与により炎症が軽減し、入院環境への順応が進み、気分的にも余裕を持ってからリハビリテーション訓練と温泉浴は行うべきものと思われる。

このことは、加療後の反応がよく反映している。すなわち、RA-1とRA-2では加療によりCRPがRA-1：8.08 mg/dlより0.53 mg/dlに、RA-2：9.97 mg/dlより2.15 mg/dlに低下しており、臨床症状も改善した。この時期にはリハビリテーション訓練と温泉浴によりIL-6が半減しており、その有効性を認めることが出来た。RA-4では4日後に再検したが、CRPは1.52 mg/dlから1.54 mg/dlと変化を認めな

かった。「安静が取れたので気分が良くなった」と患者が述べたので、通常のリハビリテーション訓練と温泉浴にも耐えられるであろうとの想定のもとで施行した。患者は「ちょっときつかったね」と述べたが気分は良く、不満を訴えることはなかった。意外なことに、IL-6は図2のように倍増した。すなわち、RA-1とRA-2の経験に基づいて通常よりも軽度の訓練を負荷したことが加療前でもIL-6の低下を得たが、CRP値から判断しても改善が不十分な時点で強い負荷がかかるとIL-6の上昇をもたらすのであろう。炎症が十分に改善されるまでは軽度の訓練を心がけ、十分な改善を得てからその量を増すことの必要性を示していると思われる。

＃3：リハビリテーションの手段としての温泉浴の利用に関する現状の評価と改善の方向性：⑪-⑭

○水・温泉療法の医療手段として評価の現状

リハビリテーション施設において温泉利用が可能であることは、リハビリテーションへの意欲を高めるし、また、温熱費の節減にもつながるため、有利な条件であろう。治療の効果を挙げ不測の事態を予防するためには、運動浴槽を用いた治療・訓練はPT・OT・リハビリスタッフの監視のもとに行われるべきであるが、PT・OTが直接指導して水中運動訓練を行わねばならない件数は多くなく、また、整形外科手術後の訓練開始時期などを除けば多くは一度のPT・OTの指導で目的は果たされていた。むしろPT・OTに対しては、ベッドサイドリハビリテーションに出向くことのニーズが大きく、より多くの時間を病棟出張に振り分けねばならなかった。また、安全のために停止した運動浴槽での自主訓練への要望は外来患者・入院患者ともにニーズが大きく、自主訓練を厳しく制限することは困難と判断した。なお、運動浴以外の温泉利用である鉱泥浴へのニーズはさらに少なく、鉱泥代や電気代、清掃など負担が大きいためルーチンのリハビリテーションメニューから削除した。

○総合リハビリテーション施設へのアプローチ

平成14年4月の診療報酬改訂により、リハビリテーションは入院医療に特化した、より早期からのPT/OTによる関わりが条件とされるように変化しつつある。我々は、平成13年度において、当院を総合リハビリテーション施設として格上げしてその中に温泉治療をいかに組込むかを検討した。

*総合リハビリテーション施設による収入増

平成13年7-10月のリハビリテーション施設の収入は、総合リハビリテーション施設としてシミュレーションすると、理学療法では、約24%の増収となるが、そのためには、現3名のPTが5名に、現2名のOTが3名（精神科リハビリテーションも行うので4名）になることが必要である。この中での温泉治療は、現実には、現施設中の温泉浴と泥浴は削除し、ホットパックは温泉熱利用型から電気加熱型となり、ハバード浴も電気加熱型となっている。したがって、温泉の利用は、運動浴のみとなっている。その運動浴は、時に浴槽外からの監視の下に訓練を行うが、原則として訓練士が浴槽に入ってのマンツーマンの指導とし、自主訓練は制限する方向にある。助手たちによる訓練は、床や種々の器具を使った筋力訓練、ROMの改善などの訓練が中心となってゆく。PT/OTは、訓練施設での直接指導と病棟での早期リハビリテーションを目的に、病棟での個別リハビリテーションへとシフトしてゆくことにならざるを得ない。

今後の取り組みとしては、より高いレベルのリハビリテーションと収入を得るためには、PT/OTによるマンツーマン指導を原則とし、超早期・早期加算をはじめとする各種加算を採り入れることが必要である。また、現在の主対象である関節リウマチや整形外科的疾患における四肢機能（運動機能）訓練や脳血管障害後遺症に対する訓練のみならず、心疾患、糖尿病、呼吸器疾患、人工関節手術前後の訓練を積極的に採り入れる必要に迫られている。

○解説

保険診療による収入を得られない訓練を続けることは困難であるし、温泉治療はもとより水治療に対

する特別の扱いはないので、温泉を利用した運動浴槽における監視下での運動療法や運動浴内でのマンツーマン指導をいかに採り入れるかの判断が求められる。単なる水と温熱としての温泉利用では収入に結びつかないので、リハビリテーションにおける温泉の利用・活用を拡大するためには、温泉利用により改善される事実を科学的観察に基づく証拠として提示しようと常に念頭に置いて取り組むことが必要となる。この困難さの故に、リハビリテーション分野は水・温泉から遠ざからざるを得ないことを示している。

○温泉治療とリハビリテーションが可能な施設として目指す夢

国立別府病院リハビリテーション施設の持つ最大の特徴の一つは温泉利用が可能なことである。国立別府病院リハビリテーション棟のうち、機能訓練棟は、昭和23年設立の温泉治療棟の南側に肢体機能回復訓練室として昭和36年に設立され、昭和50年には温泉治療棟とは別個に新築された。昭和54年、現温泉治療棟が機能訓練棟に隣接して廊下でつながった施設として併設され、リハビリテーション棟と命名されて今日に至っている。したがって、機能訓練棟と温泉治療棟は相互に独立しており、両者は機能的にアレンジされていない。何時の日か機能訓練と温泉治療棟が建て替えられるであろうから、その時の準備として以下のごとくを検討した。

* 基本的コンセプト

- ・温泉を利用出来るリハビリテーション施設であること。
- ・温泉を利用した総合的リハビリテーションプログラムが用意されていること。
リハビリテーションの目的は病院から家庭や社会への復帰を図ることであるので、家庭での生活に対応したリハビリテーションプログラムや住居環境の改善助言が出来るなどのプログラムが用意されていること。
- ・リハビリテーション訓練が訓練のみではなく、それ自身が楽しめるものであること。
- ・リハビリテーション施設に居ること気分をリラックスさせるような空間であること。
- ・病院職員にも利用できる憩いの場であり得ること。

* 未来のリハビリテーション施設（図3）

建物全体は鳥をイメージし、明るく未来へ飛び立つためのしばしの憩いの場であることを願い、建物の形、立木、調度で鳥の形を模した。また、外光を多く採り入れ、明るさを強調した。

温泉治療棟は、運動浴と温泉浴が水治療の中心であり、ハバード浴や小浴槽は筋力低下が著明な患者の訓練や入浴を行う。ホットバック室は、温泉熱を利用して疼痛局所を暖める。PT/OT室は現機能をカバーするが、PT室の中にマッサージ室を、OT室の中に言語訓練室を設ける。受け付け周辺には、ソファを置き、PT/OT室には談話スペースを用意する。受け付け上部はステンドグラス張りとして外光を採り入れ、明るさと美しさを強調する。

運動浴室の手前にエレベーターを設け、2階へ上がれるようにする。2階は、中央部分を吹き抜けとし、運動浴室の天井から外光を採り入れる。吹き抜けの周囲にはテーブルと椅子を置き、先端部分をテラスとする。眼前に別府湾を望み、患者達の気分転換を図る。2階部分は一般職員にも開放し、会議や集会に利用する。

4：温泉治療学への反省と提言

検討のごとく、より急性期へと特化してゆく病院でのリハビリテーションは、温泉治療・水治療を困難としつつある。換言すれば、“健康増進”はもはや視野に入っていないのが現状である。

温泉の医学的利用は、医科学の領域である以上、evidenceが求められる。しかしながら、目覚ましいスピードで進んでゆく医科学にキャッチアップすることは至難の業である。その将来に大きな不安を感じざるを得ない。とは言え、温泉の利用として開拓せねばならない領域とは、高齢化社会対策としての位

置づけであろう。目前に迫った21世紀高齢化社会に対し平成12年度には介護保険制度が開始されたが、この制度の対象は、急増する“病気を持たない高齢者”である。彼らが“病気を持たない高齢者”であり続けるよう図らねばならないが、温泉はその有望な一手段として考慮されるべきであろう。心身のリフレッシュを図り、障害に対する早期リハビリテーションの手段としての温泉の意義を見直すべき時である。温泉を利用できるリハビリテーション施設の充実、地域リハビリテーションとして有効・重要な課題であろう。

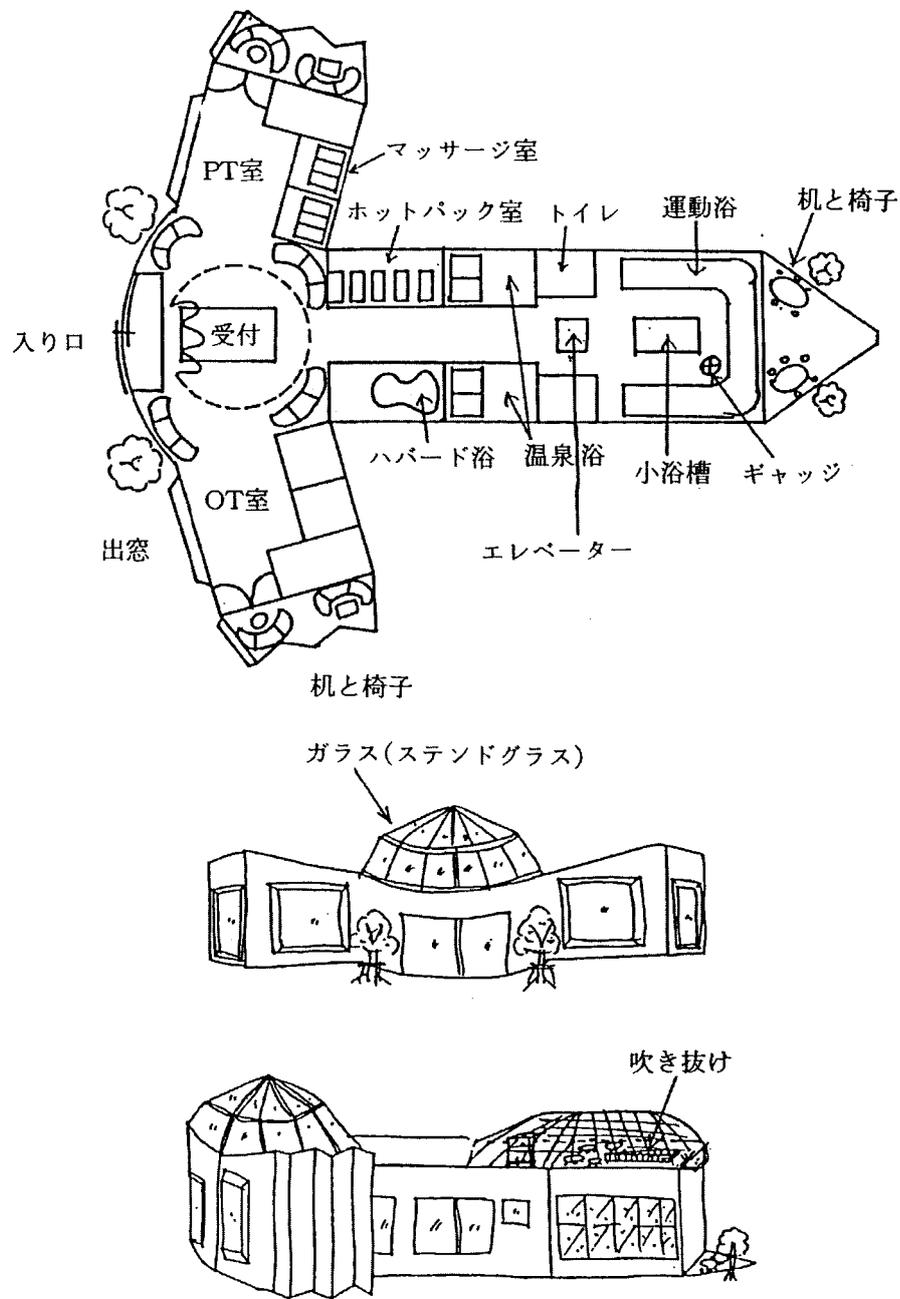


図3：未来のリハビリテーション施設

報告書一覧

- ①安田正之, 松林幹代子, 野村祥子, 末永康夫, 赤山祥子. 慢性関節リウマチのQOLに対する温泉浴の効果. 大分県温泉調査研究会報告 46: 47-50, 1995.
- ②安田正之. 慢性関節リウマチのQOLに対する温泉浴の効果. - II 運動浴および温泉浴の効果 -. 大分県温泉調査研究会報告 47: 47-49, 1996.
- ③安田正之. 慢性関節リウマチ患者の温泉浴による免疫学的変化(I). 大分県温泉調査研究会報告 51: 35-38, 2000.
- ④安田正之. 慢性関節リウマチ患者の温泉浴による免疫学的変化(II). 大分県温泉調査研究会報告 52: 45-47, 2001.
- ⑤安田正之. 慢性関節リウマチ患者の温泉浴による免疫学的変化(IV). 大分県温泉調査研究会報告 55: 27-28, 2004.
- ⑥安田正之. 慢性関節リウマチ患者の温泉浴による免疫学的変化(V). 大分県温泉調査研究会報告 56: 67-68, 2005.
- ⑦安田正之. 慢性関節リウマチ患者の温泉浴による免疫学的変化(VI). 大分県温泉調査研究会報告 57: 69-72, 2006.
- ⑧安田正之. 慢性関節リウマチ患者の温泉浴による免疫学的変化(VII). 大分県温泉調査研究会報告 59: 41-42, 2008.
- ⑨安田正之. 慢性関節リウマチ患者の温泉浴による免疫学的変化(VIII). 大分県温泉調査研究会報告 59: 43-45, 2008.
- ⑩安田正之. 慢性関節リウマチ患者の温泉浴による免疫学的変化(IX). 大分県温泉調査研究会報告 60: 1-2, 2009.
- ⑪温泉利用の出来るリハビリテーション施設における問題点と将来の方向性に関する検討 大分県温泉調査研究会報告 48: 53-58, 1997.
- ⑫温泉利用の出来るリハビリテーション施設における問題点と将来の方向性に関する検討 - 中間報告 II - 大分県温泉調査研究会報告 49: 27-30, 1998.
- ⑬温泉利用の出来るリハビリテーション施設における問題点と将来の方向性に関する検討 - III. 温泉治療とリハビリテーションが可能な施設 - 大分県温泉調査研究会報告 50: 33-36, 1999.
- ⑭温泉利用の出来るリハビリテーション施設における問題点と将来の方向性に関する検討 - IV. 総合リハビリテーション施設へのアプローチと温泉の利用に関して - 大分県温泉調査研究会報告 50: 33-36, 1999.

大分県温泉調査研究会会則

第1条 この会則は、大分県温泉調査研究会（以下「研究会」という。）の組織及び運営に関し必要な事項を定めるものとする。

第2条 研究会の事務局を大分県生活環境部生活環境企画課内に置く。

第3条 研究会は大分県内における温泉の科学的調査研究をして公共の福祉の増進に寄与することを目的とする。

第4条 研究会は前条の目的を達成するために下記の事業を行う。

- (1) 温泉脈及び温泉孔の分布状況調査
- (2) 噴気に関する研究調査
- (3) 温泉に対する影響圏の調査
- (4) 化学分析による温泉調査
- (5) 療養的価値よりみたる温泉の調査
- (6) 温泉に関する図書及び機関紙の発行
- (7) その他研究会の目的達成に必要な事業

第5条 研究会は下記の構成員をもって組織する。

- (1) 学識経験者
- (2) 県及び温泉所在地市町村の代表
- (3) 関係行政庁の吏員
- (4) 本研究会の趣旨に賛同する団体及び個人

第6条 研究会の役員は下記のとおりとし、総会によって選任する。

- (1) 会 長 1名
- (2) 副 会 長 2名
- (3) 常務理事 1名
- (4) 理 事 若干名
- (5) 監 事 2名

2 役員は任期は2年とする。ただし、役員に欠員を生じた場合の補欠役員の任期は前任者の残任期間とする。

第7条 会長は会務を総理し、会議の議長となる。

- 2 会長に事故のあるときは副会長が、会長及び副会長に事故があるときは常務理事がその職務を代理する。
- 3 常務理事は会長を補佐して研究会の庶務に従事する。ただし、研究会の会計事務は常務理事が処理するものとする。
- 4 理事は会務に従事する。
- 5 監事は会計を監査する。

第8条 研究会に顧問を置くことができる。

- (1) 顧問は役員会の承認を得て会長が委嘱する。この場合、総会に報告しなければならない。
- (2) 顧問は研究会の事業について会長の諮問に応ずるものとする。

第9条 研究会に下記の職員を置く。

- (1) 書記 若干名
- (2) 書記は会長が任命又は委嘱する。
- (3) 書記は上司の指示を受け庶務に従事する。

第10条 会議は総会及び役員会とする。

第11条 総会は会長が招集する。

- 2 総会は通常総会及び臨時総会とし、臨時総会は会長が必要と認めたとき、又は会員の5分の1の請求があったときに招集する。
- 3 総会の招集は開会の5日前までに会員に届くように会議に付議する事項、日時及び場所を通知しなければならない。

第12条 総会において下記の事項を議決する。

- (1) 会則の変更
- (2) 役員を選出
- (3) 予算及び事業計画
- (4) 解散
- (5) その他重要事項

第13条 総会は会員の過半数が出席しなければ議事を開き議決することはできない。

- 2 議事は出席会員の過半数で決し、可否同数のときは議長の決するところによる。
- 3 議事に関しては議事録を調整し、会長の指名した2名以上の者がこれに署名しなければならない。

第14条 下記の事項について会長は専決することができる。

- (1) 総会の議決事項であっても軽易な事項
- (2) 緊急を要する事項
- (3) 会員の入会・退会

2 下記の事項については総会に報告し、承認を得なければならない。

- (1) 前項の専決事項
- (2) 前年度の事業及び決算

第15条 役員会は会長が招集する。

2 役員会は総会に付議する事項、顧問の推薦、その他会長が必要と認める事項を審議する。

第16条 第14条第1項及び第2項の規定は役員会に準用する。

第17条 研究会は議事遂行上必要がある場合は、専門委員会を設けることができる。

2 前項の委員会に関する事項は総会で決定する。

第18条 研究会の経費は負担金及び補助金、委託料、寄附金等その他の収入をもってこれにあてる。

第19条 研究会の会計年度は毎年4月1日から始まり翌年3月31日に終わる。

2 年度における余剰金は翌年度に繰越すことができる。

附 則

前条の規定にかかわらず、昭和24年度の会計年度は6月1日から始めるものとする。

附 則

この会則の改正は、昭和46年4月1日から適用する。

この会則の改正は、昭和48年4月1日から適用する。

この会則の改正は、平成2年4月1日から適用する。

この会則の改正は、平成7年5月1日から適用する。

この会則の改正は、平成9年4月1日から適用する。

この会則の改正は、平成16年4月1日から適用する。

この会則の改正は、平成18年4月1日から適用する。

この会則の改正は、平成21年8月3日から適用する。

大分県温泉調査研究会会員名簿 (順不同)

(平成22年7月1日現在)

所 属 ・ 職 名	氏 名	備 考
京都大学 名誉教授	由 佐 悠 紀	会 長
九州大学 名誉教授	矢 永 尚 士	副 会 長
大分県生活環境部 生活環境企画課 課長	青 木 正 年	副 会 長
大分県生活環境部 生活環境企画課 課長補佐	梶 原 浩	常務理事
大分大学 特任教授	川 野 田 實 夫	理 事
臼杵市医師会立コスモス病院 院長	安 田 正 之	
九州大学 名誉教授	古 賀 昭 人	
九州大学 名誉教授	延 永 正	
大分大学 名誉教授	志 賀 史 光	
元大分大学	大 野 保 治	
大分総合検診センター 会長	辻 秀 男	
九州大学生体防御医学研究所 教授	牧 野 直 樹	理 事
岡山理科大学理学部基礎理学科 教授	北 岡 豪 一	
立正大学地球環境科学部 教授	河 野 忠	
大分大学教育福祉科学部	大 上 和 敏	
京都大学地球熱学研究施設 教授	竹 村 恵 二	理 事
京都大学地球熱学研究施設 教授	大 沢 信 二	理 事
京都大学地球熱学研究施設 助教	山 本 順 司	
京都大学地球熱学研究施設 助教	柴 田 知 之	
京都大学地球熱学研究施設 研究機関研究員	三 好 雅 也	
京都大学地球熱学研究施設 研究機関研究員	山 田 誠	
京都大学地球熱学研究施設	三 島 壯 智	
大分大学大学院教育学研究科	酒 井 拓 哉	
秋田大学工学資源学部地球資源学科	網 田 和 宏	
京都大学地球熱学研究施設 教務補佐員	芳 川 雅 子	
京都大学大学院理学研究科附属地球熱学研究施設 火山研究センター	宇津木 充	
京都大学大学院理学研究科附属地球熱学研究施設 火山研究センター	鍵 山 恒 臣	
東京大学地震研究所 地震予知研究推進センター	長 谷 英 彰	
九州大学病院別府先進医療センター循環呼吸老年病内科 助手	尾 山 純 一	
別府ONSEN地療法研究会(畑病院)	畑 洋 一	
別府ONSEN地療法研究会(畑病院)	畑 知 二	
大分大学医学部 精神神経医学 教授	寺 尾 岳	
大分大学医学部 医員	塩 月 一 平	
別府大学文学部文化財学科 准教授	中 山 昭 則	
(社)大分県薬剤師会 会長	安 東 哲 也	
タナベ環境工学(株) 代表取締役	藤 澤 剛	
タナベ環境工学(株) 環境調査課 課長	後 藤 弘 樹	
タナベ環境工学(株) 環境調査課 係長	後 藤 明 子	

所 属 ・ 職 名	氏 名	備 考
松尾機器産業(株) 代表取締役	松 尾 隆	
松尾機器産業(株) 営業部 係長	吉 田 篤 史	
松尾機器産業(株) 営業部	安 東 国 広	
松尾機器産業(株) 営業部	松 尾 広 暁	
九電産業(株) 環境部 理事環境部長	今 泉 幸 男	
九電産業(株) 環境部 課長代理	福 重 広 明	
九電産業(株) 環境部 課長代理	渡 辺 英 樹	
九電産業(株) 環境部 主任	能 登 征 美	
(株)住化分析センター 大分事業所 所長	阪 上 重 幸	
(株)住化分析センター 大分事業所	白 國 忠 志	
(株)住化分析センター 大分事業所	板 井 清 美	
(株)住化分析センター 大分事業所	淵 野 大 輔	
大 分 市 長	釘 宮 馨	理 事
別 府 市 長	浜 田 博	理 事
中 津 市 長	新 貝 正 勝	
日 田 市 長	佐 藤 陽 一	理 事
臼 杵 市 長	中 野 五 郎	
竹 田 市 長	首 藤 勝 次	理 事
杵 築 市 長	八 坂 恭 介	
宇 佐 市 長	是 永 修 治	
由 布 市 長	首 藤 奉 文	理 事
国 東 市 長	野 田 侃 生	
九 重 町 長	坂 本 和 昭	理 事
玖 珠 町 長	朝 倉 浩 平	
別府市役所ONSENツーリズム部温泉課 課長	屋 田 禎 弘	監 事
別府市役所ONSENツーリズム部温泉課 課長補佐	村 上 正 人	
大分県東部保健所 所長	大 神 貴 史	監 事
大分県東部保健所 次長	加 藤 博 美	
大分県衛生環境研究センター 所長	淵 祐 一	理 事
大分県衛生環境研究センター水質担当 専門研究員	宮 崎 博 文	
大分県衛生環境研究センター微生物担当 専門研究員	小 河 正 雄	
大分県衛生環境研究センター水質担当 主幹研究員	鈴 木 龍 一	
大分県衛生環境研究センター水質担当 研究員	佐 藤 洋 子	
大分県産業科学技術センター 製品開発支援担当 主任研究員	齊 藤 雅 樹	

(会員数 72名)

書 記

所 属 ・ 職 名	氏 名	備 考
大分県生活環境部生活環境企画課 副主幹	長谷川 智 昭	
大分県生活環境部生活環境企画課 主任	熊 野 真 二 郎	

(2名)

大分県温泉調査研究会報告 第61号

平成22年7月 印刷

平成22年7月 発行

発行 大分県温泉調査研究会

〒870-8501 大分市大手町3丁目1-1

大分県生活環境部

生活環境企画課内(事務局)

TEL 097-506-3021

FAX 097-506-1741

印刷 〒870-0022 大分市大手町2丁目3番4号

有限会社 舞鶴孔版

TEL 097-532-4231